

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

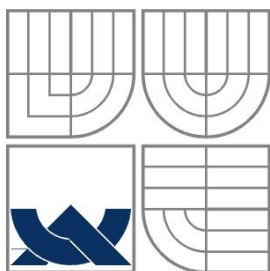
## ANALÝZA A INOVACE STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

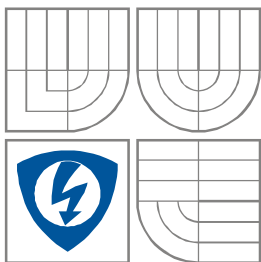
JIŘÍ ŠTAFFA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

# ANALÝZA A INOVACE STEJNOSMĚRNÝCH MOTORKŮ

ANALYSIS AND INNOVATION OF DC MOTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

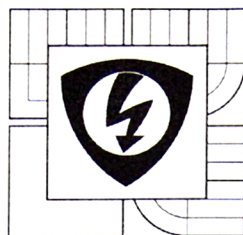
JIŘÍ ŠTAFFA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. VÍTĚZSLAV HÁJEK, CSc.

BRNO, 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Jiří Štaffa  
**Ročník:** 3

**ID:** 125659  
**Akademický rok:** 2011/12

**NÁZEV TÉMATU:**

## Analýza a inovace stejnosměrných motorků

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište používané stejnosměrné motorky malého výkonu.
2. Vyberte a analyzujte jeden zvolený typ.
3. Prozkoumejte a ověřte možnosti inovace, doložte základními výpočty.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

**Termín zadání:** 21.9.2011

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## Abstrakt

Práce se zabývá stejnosměrným elektromotorem od firmy *ATAS elektromotory Náchod a.s.* s výrobním názvem *P2XR49*. Zprvu je samotné seznámení se s principem chodu, rozběhu, řízení otáček a komutací stejnosměrného stroje. Provedení stejnosměrných strojů zahrnuje konstrukci a výčet použitých dílů stroje, použitý typ vinutí a používané typy motorků, dělené dle typu buzení.

Dále je zahrnut podrobný postup při odměřování momentové charakteristiky nejvíce používané v praxi, znázorňující velké množství údajů o vlastnostech stroje. Momentová charakteristika byla odměřena pro konstantní jmenovité napětí do jmenovitého proudu ve směru otáčení *CCW* vzestupně a *CW* na jmenovitých hodnotách proudu.

Inovaci stroje, snížení úbytku napětí na komutátoru, jsem zvolil z důvodu nejvíce problematické části stroje a to komutátoru. Zvýšením přitlačné síly se docílí menší přechodový odpor a tím i menší úbytek napětí na komutátoru.

## Abstract

This work deals with direct-current electric motor, type *P2XR49*, by firm *ATAS elektromotory Nachod a.s.* At first there is an introduction with the principal of running, starting, controlling of revolutions and commutating of direct-current machine. The implementation of direct-current machines contains a construction and a list of machine parts, a type of winding and types of small motors that had been used. It is ordered according to a type of excitation.

The work includes detailed procedure of admeasurements of speed-torque characteristic mostly used in practice. There is a large number of machine characteristics. The speed-torque characteristic was measured in constant voltage rating into current rating in the direction of rotation *CCW* upwardly and *CW* on strength of current rating.

Machine innovation, decrease in volt drop on the commutator, was chosen because commutator is the most problematic part of the machine. If the contact pressure is increased the transition resistance will be lesser and consequently the volt drop on the commutator will be lesser.

## **Klíčová slova**

Stejnoseměrný motor; malý výkon; inovace; kartáč; lamela; komutátor; povrchový graf; momentová charakteristika; přitlačná síla kartáčů; úbytek napětí

## **Keywords**

Direct current motor; small power; innovation; brush; commutator bar; commutator; surface chart; torque characteristics; brush pressure; voltage drops

## **Bibliografická citace**

ŠTAFFA, J. Analýza a inovace stejnosměrných motorků . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 48 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Nová řada stejnosměrných motorů malého výkonu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

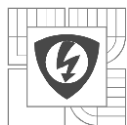
Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu semestrální práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne .....

Podpis autora .....



## Obsah

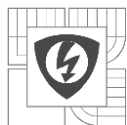
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 ČINNOST STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 PRINCIP CHODU .....</b>	<b>12</b>
1.1.1 ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE .....	12
1.1.2 PRINCIP ČINNOSTI.....	12
<b>1.2 ROZBĚH STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 ŘÍZENÍ OTÁČEK .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 KOMUTACE .....</b>	<b>14</b>
1.4.1 KOMUTÁTOR.....	14
1.4.2 PROUDOVÉ POCHODY NA KARTÁČÍCH A KOMUTÁTORU .....	15
1.4.3 KARTÁČE.....	15
<b>1.5 REAKCE KOTVY .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 INDUKOVANÉ NAPĚTÍ KOTVY A ELEKTROMAGNETICKÝ MOMENT .....</b>	<b>17</b>
1.6.1 ZTRÁTY VE STEJNOSMĚRNÉM STROJI.....	19
<b>2 PROVEDENÍ STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 KONSTRUKCE .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 TYP BUZENÍ .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 CHARAKTERISTIKA NAPRÁZDNO .....	21
2.2.2 CIZE BUZENÝ STROJ .....	22
2.2.3 SÉRIOVĚ BUZENÉ DYNAMO .....	22
2.2.4 PARALELNĚ (DERIVAČNÍ) BUZENÉ DYNAMO .....	23
2.2.5 SÉRIO-PARALELNĚ (KOMPAUDNÍ) BUZENÉ DYNAMO .....	23
<b>2.3 TYPY VINUTÍ .....</b>	<b>24</b>
2.3.1 SMYČKOVÉ VINUTÍ KOTVY .....	24
2.3.2 VLNOVÉ VINUTÍ KOTVY .....	24
<b>3 MĚŘENÍ MOTORU .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 ŠTÍTKOVÉ HODNOTY MOTORU A TECHNICKÝ VÝKRES .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 CHARAKTERISTIKY MOTORU .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 VYPRACOVÁNÍ PROTOKOLU .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 POSTUP PŘI MĚŘENÍ .....	26
3.3.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY A VÝPOČTY .....	27
3.3.3 MOMENTOVÉ CHARAKTERISTIKY MOTORU P2XR492 .....	28
<b>4 MOŽNOSTI INOVACE STEJNOSMĚRNÉHO STROJE .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI .....</b>	<b>29</b>





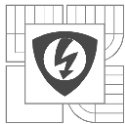
---

4.1.1 VELIKOST BUDÍCÍCH PARAMETRŮ .....	29
4.1.2 ZMĚNA TYPU A PARAMETRŮ VINUTÍ KOTVY .....	29
4.1.3 ZMENŠENÍ ZTRÁT VÍŘIVÝMI PROUDY .....	30
4.1.4 ZMENŠENÍ VZDUCHOVÉ MEZERY .....	30
4.1.5 ZMENŠENÍ VENTILAČNÍCH ZTRÁT .....	30
4.1.6 ZMENŠENÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT .....	30
4.1.7 ZMENŠENÍ ZTRÁT NA KOMUTÁTOU .....	30
<b>4.2 ZMĚNA TYPU KOMUTACE .....</b>	<b>30</b>
<b>5 INOVACE ZMENŠENÍM ÚBYTKU NA KOMUTÁTORU .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1 PŘECHODOVÝ ODPOR KONTAKTU KOMUTÁTOR KARTÁČ .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2 PŘÍKLAD VÝPOČTU .....</b>	<b>32</b>
5.2.1 VLASTNÍ VÝPOČET .....	32
5.2.2 ZHODNOCENÍ VÝPOČTU .....	32
<b>5.3 TYPICKÉ PROBLÉMY KARÁČŮ A KOMUTÁTORU, PŘÍČINY A JEJICH ODSTRANĚNÍ .....</b>	<b>33</b>
5.3.1 PŘÍZNAKY .....	33
5.3.2 PRAVDĚPODOBNÁ PŘÍČINA PROBLÉMU .....	34
5.3.3 OPRAVA VADY .....	35
<b>5.4 POVRCHOVÉ GRAFY KARTÁČE .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5 POVRCHOVÉ GRAFY KOMUTÁTORU .....</b>	<b>38</b>
<b>5.6 VZHLED OSTATNÍCH PORUCH .....</b>	<b>40</b>
5.6.1 TYPICKÉ PORUCHY KOMUTÁTORU .....	40
5.6.2 TYPICKÉ PORUCHY PŘÍVODNÍHO KABELU KE KARTÁČI .....	41
5.6.3 NEJČASTĚJŠÍ DEFORMACE UHLÍKOVÝCH KARTÁČŮ .....	41
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>44</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>45</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1.1 – Schéma elementárního stroje a průběhy [3].....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 1.2 – Průchod proudů při komutaci [5].....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 1.3 – Stavby přechodů proudu při komutaci [5].....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 1.4 – Magnetický tok budícího obvodu [5] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 1.5 – Magnetický tok obvodu kotvy [5].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 1.6 – Výsledný tvar magnetického pole [5] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 1.7 – Ztráty v dynamu .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 2.1 – Konstrukce stejnosměrného stroje [7].....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2.2 – Uchycení kartáčů .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2.3 – Komutátor a kartáče .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2.4 – Rotor komutátor.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2.5 – Stator s permanentními magnety .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 2.6 – Schéma pro měření charakteristiky naprázdno [5] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 2.7 – Cize buzené dynamo [8] .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 2.8 – Sériově buzené dynamo [8].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 2.9 – Derivačně buzené dynamo [8] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 2.10 – Kompaundně buzené dynamo [8] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 2.11 – Smyčkové vinutí [8] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 2.12 – Vlnové vinutí [8] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 3.1 – Technický výkres motoru (viz příloha).....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 3.2 – Momentové charakteristiky motoru (viz příloha) .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 3.3 – Momentová charakteristika motoru P2XR492 .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 5.1.1-11 - Povrchové grafy kartáče [9] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 5.2.1-11 - Povrchové grafy komutátoru [9].....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 5.3 – Vyčnívající nebo zapadlé lamely [9] .....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5.4 – Slidová izolace vyčnívá [9] .....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5.5 – Ubroušené lamely [9] .....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5.6 – Tažení mědi [9].....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5.7 – Typické poruchy přívodního kabelu [9].....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 5.8 – Deformace B1, B2.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 5.9 – Deformace B3 .....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 5.10 – Místo styku B4.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5.11 – Místo styku B5.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5.12 – Rozpad a deformace.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5.13 – Boční pohled .....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5.14 – Deformace třením .....</i>	<i>42</i>



---

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1.1 – Vliv reakce kotvy na pole budicího vinutí .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 2.1 – Tabulka obrázků stejnosměrného stroje.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 2.2 – Typy vinutí.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3.1 – Šítkové hodnoty motoru.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 3.2 – Naměřené hodnoty na motoru P2XR492.....</i>	<i>27</i>



## ÚVOD

Téma tohoto semestrálního projektu je NOVÁ ŘADA STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ MALÉHO VÝKONU. Stejnosemřné motory byly užívány ve velkém množství a v budoucnu tomu bude i nadále. Jedním z největších kladů je, že napájecí napětí přiváděné ke stroji může mít stejnosměrný charakter a nemusí dosahovat vysokých hodnot napájecího napětí (záleží na konstrukci a typu). Například u třífázových asynchronních motorů musíme použít třífázové rozvodné sítě, nebo využít frekvenční měnič pro vytvoření tří fází (posunutých o  $120^\circ$ ), které je nutné pro vytvoření točivého pole, což je více nákladné a někdy pro realizaci nemožné.

Stejnosemřné motory malých výkonů mají největší využití v aplikacích s nízkonapětovým rozvedem elektrické energie, jako je například automobilová elektrotechnika. Automobilový průmysl je v dnešní době velmi rozšířeným a rozmoženým trendem. Nebojím se říci, že je komfortem elektrifikace jednotlivých součástí pro pohodlnější, rychlejší a přesnější ovládání jednotlivých aplikací v automobilu. Dále se také tyto motory využívají v prostorech životu nebezpečných. Možnost napájení sníženým stejnosměrným napětím nám vykazuje velkou výhodu oproti motorům, u kterých se musí používat elektronicky řízená výkonová část napájení.

Nejprve se blíže seznámíme s motorem samotným, jeho elektrickými a magnetickými pochody. Jakým principem je způsoben běh a jak jej můžeme regulovat a ovládat. Konstrukce, která se liší podle požadovaných štítkových hodnot motoru, která je v dnešní době využívána pro výrobu strojů, je jedna z nejdůležitějších.

Je zde zhotoven zhrubý přehled typů připojování stejnosměrného stroje na napájení. Budící vinutí je nutno napájet podle požadavků na charakteristiky motoru.

Jedním z cílů práce je navázat kontakt s firmou *ATAS elektromotory Náchod a.s.* a vybraný motor P2XR492 odměřit v laboratoři firmy. Z naměřených hodnot vypracovat protokol a jako výsledek zhotovit momentové charakteristiky, které jsou velmi důležité v praxi při výběru stejnosměrného motoru pro danou aplikaci.

Přehledu možných inovací stejnosměrného stroje se nalézá v kapitole čtvrté. Inovací míním zlepšení účinnosti stejnosměrného stroje. Inovuje se z důvodu dosažení lepších parametrů přeměny elektrické energie na mechanickou a naopak. Získání lepších parametrů lze dosáhnout snížením elektrických nebo mechanických ztrát ve stroji. V poslední řadě bych okrajově seznámil s EC motorem.

Poslední kapitolu bych rád věnoval konkrétní inovaci, a to snížením napětového úbytku na komutátoru. Docílím tím zvětšením přitlačné síly působící na kartáče, jež dosedají na lamely komutátoru. Tímto opatřením se sice zmenší úbytek napětí na komutátoru, ale s ním vznikají častější poruchy zapříčiněné větší přitlačnou silou. V kapitole se nalézají možné poruchy jejich diagnostika a případné odstranění. Dále z povrchových grafů komutátoru a kartáčů lze také diagnostikovat závadu nebo blížící se potíže vzniklé jakoukoli příčinou.



# 1 ČINNOST STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU

## 1.1 PRINCIP CHODU

### 1.1.1 ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE

Stejnosemřný motor se skládá z pevného statoru a rotoru, který je pohyblivě otočný kolem své podélné osy. Ve statoru se nacházejí póly, které tvoří permanentní magnety, nebo je na nich navinuté budící vinutí pro vytvoření magnetického toku. V rotoru jsou drážky, v kterých je vloženo vinutí kotvy, jeho konce jsou vyvedeny na lamely komutátoru, na který dosedají kartáče sloužící pro přívod stejnosměrného napájecího napětí.

### 1.1.2 PRINCIP ČINNOSTI

Princip chodu stejnosměrného motoru je vytvoření magnetického pole ve statoru, kde je budící vynutí, nebo vhodně natočené permanentní magnety. Magnetické pole se uzavírá přes kotvu motoru. Kotva je tvořena především závitem (mnoha závitů = kotvou), jímž protéká stejnosměrný elektrický proud, tím vzniká severní a jižní pól, který je závislý na poloze kartáčů.

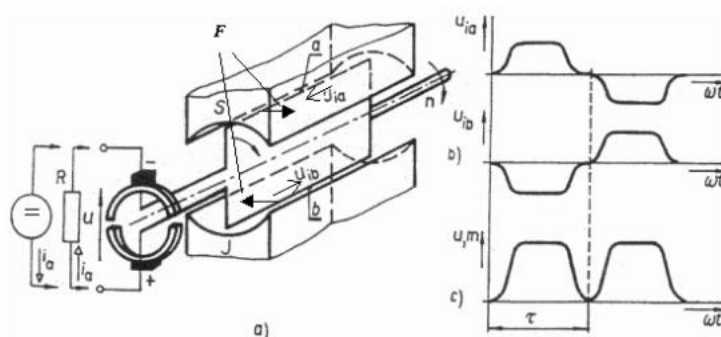
Napájení je přiváděno na kotvu nejčastěji pomocí komutátoru s kartáči (výjimkou jsou EC motory), je to mechanická součást rotoru. Komutátor obsahuje lamely, na které dosedají kartáče. Přes kartáče a lamely prochází pracovní proud, který při přechodu z jedné lamely na druhou způsobí změnu toku proudu.

Průtokem elektrického proudu je vytvořena síla, jež lze určit pravidlem pravé ruky. Tato síla tvoří točivý moment na hřídeli otáčející rotorem směrem k magnetické neutrále.

Magnetická neutrála je poloha rotoru, kdy nepůsobí na hřídel točivý moment a magnetické pole jsou v souhlasném směru. Abychom zachovali dosavadní směr otáčení, musíme zajistit přepólování proudu protékajícího kotvou, aby se rotor neustále pohyboval ve směru magnetické neutrály.

Tento neustálý pohyb je zajištěn již zmiňovaným komutátorem. Na jednotlivé lamely komutátoru jsou přivedeny konce závitů rotorového vinutí (kotvy). Pootočením rotoru vlivem točivého momentu se přesunují kartáče na další lamely, které zajistí opačný směr průchodu proudu, a tím opět magnetická neutrála získá předstih před rotorem, ten se snaží opět dostat do magnetické neutrály. Opakováním tohoto děje je způsobeno točení stejnosměrného stroje s komutátorem.

Elektrické schéma elementárního stroje (a)), indukované napětí v jednotlivých vodičích (b)) a indukované napětí na svorkách stroje a jeho moment (c)).



Obrázek 1.1 – Schéma elementárního stroje a průběhy [3]

Indukované napětí ve smyčce o délce  $l$ , rychlosti pohybu  $v$ , umístěné v magnetickém poli  $B$

$$U_i = B \cdot l \cdot v . \quad (3.1)$$

Síla na vodič o délce  $l$ , jímž protéká proud  $I_a$ , umístěn v magnetickém poli  $B$  se vypočítá

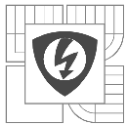
$$F = B \cdot I_a \cdot l . \quad (3.2)$$

## 1.2 ROZBĚH STEJMNOSMĚRNÉHO MOTORU

Poněvadž cívky navinuté na kotvě mají velmi malý odpor, je při nulových otáčkách při plném provozním napětí vinutím kotvy protéká velmi vysoký rozběhový proud, který by mohl zapříčinit spálení rotorového vinutí kotvy.

U motorů malého výkonu se tento problém neřeší, motory jsou dobře dimenzovány na krátkodobý špičkový spouštěcí proud, motor je chvíli lehce přetížen a poté proud klesne na jmenovité hodnoty a motor bez úhony pracuje.

U velkých strojů je nutné při rozběhu omezit proud kotvou, to lze dosáhnout zvětšením odporu rotorového vinutí, v praxi se nejčastěji zařazuje motorový spouštěč, obsahující odporovou kaskádu zařazenou do série s kotvou, která omezuje proud protékající vinutím kotvy.



## 1.3 ŘÍZENÍ OTÁČEK

U stejnosměrného motoru je při řízení otáček klíčovou veličinou velikost napětí přiloženého na komutátor a přivedeného na kotvu. Proto jsou stejnosměrné motory používány v tak velké míře. Při zvětšení napájecího napětí se z počátku zvětšuje i proud, a tím i točivý moment, který způsobuje zrychlování kotvy.

Tyto teoretické znalosti lze potvrdit upraveným vzorcem pro výpočet indukovaného napětí kotvy stejnosměrného motoru

$$U_A = U_i + R_A \cdot I_A . \quad (3.3)$$

Z této rovnice vyplývá vztah, ze kterého je jednoduché a zřetelné objasnit problematiku vnitřních pochodů elektrických veličin v motoru. Je zřejmé, že s rostoucím indukovaným napětím se zmenšuje proud kotvou. Při zvýšení odporu kotvy se zmenší proud kotvou.

Otáčky se můžou měnit i změnou síly magnetického pole statoru, nutnost použití pólů s budicím vinutím (permanentním magnetům nelze měnit magnetické pole), jímž protéká budicí proud.

Otáčky rotoru vzrůstají s klesajícím budicím proudem! (při konstantním zatížení) Velikost otáček lze tímto způsobem zvýšit nad jmenovité otáčky motoru. POZOR: hrozí zničení motoru!

Změna otáček pomocí budicího proudu se používá především u kolísavých zátěží pro udržení požadovaných otáček.

## 1.4 KOMUTACE

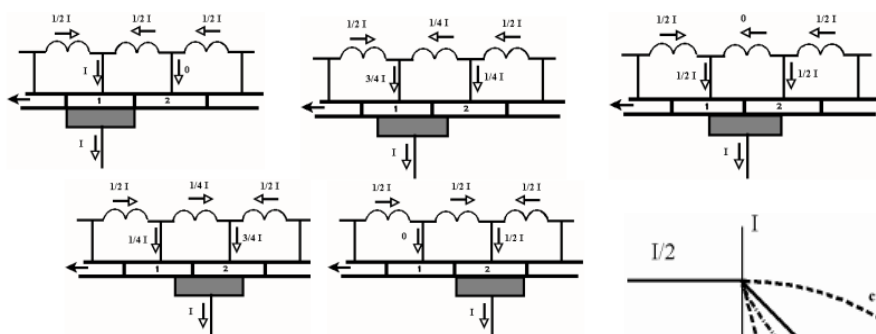
Komutace je činnost stejnosměrného motoru, kdy musí být zajištěna změna směru procházejícího proudu kotvou pro udržení stejného smyslu otáčení rotoru. Pro lepší komutaci se přidává do série s kotvou komutační vinutí navinuté na pomocných pólech. Vzniklé magnetické pole má opačnou polaritu, a tím vyruší zbylé napětí v komutující cívce.

### 1.4.1 KOMUTÁTOR

Komutátor je poněkud složitá mechanická součást pevně spojená s rotorem a tvořena izolovaná oddělenými lamelami po obvodu hřídele, na níž jsou vyvedeny konce rotorového vinutí kotvy v takovém pořadí, aby odpovídalo smyčkovému nebo vlnovému vinutí. Nejdůležitější pro komutátor je, aby byl správně vystředěn a aby lamely byly pevně usazeny v plastovém (nevodivém) upevnění. Nežádoucí je také nedostatečná přesnost výroby. Důsledkem špatné výroby je nadměrné opotřebovávání kartáčů, jiskření na přechodu kartáč-lamela a zahřívání komutátoru. Komutátor je jedna z nejdražších součástí stejnosměrného motoru z důvodu nutnosti vysoké přesnosti a preciznosti výroby. Také se musí zohlednit fakt, že přes komutátor a kartáče prochází veškerý proud spotřebovaný ve stejnosměrném motoru. Nutností je dostatečné dimenzování.

## 1.4.2 PROUDOVÉ POCHODY NA KARTÁČÍCH A KOMUTÁTORU

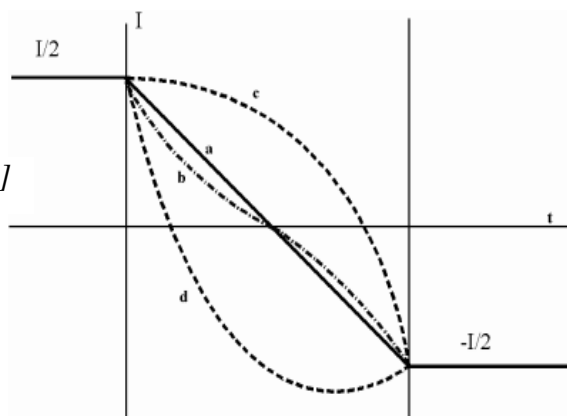
Z nákresu je zřetelně vidět, jak se rozděluje proud protékající jednotlivými vinutími kotvy přes lamely komutátoru a následně kartáče. Z toho vyplývá, jak dimenzovat jednotlivé vinutí na kotvě. Je zřejmé, že při pozici kartáče přímo nad lamelou na komutátoru protéká proud dvěma sousedními vinutími, proud se sčítá a prochází přes lamelu, nad kterou je v celé poloze kartáč. Druhý obrázek nám ukazuje, že při stavu komutace (tzn. kartáč je nad mezerou mezi lamelami) protéká proud přes dvě sousední lamely, nad kterými je v danou chvíli kartáč, a vinutí mezi nimi je v komutačním stavu (tzn. neprotéká jím žádný proud). Nespočetné množství průběhů mezi těmito stavy vypadá analogicky, jen se mění poměr proudů procházející jednotlivými vinutími.



Obrázek 1.2 – Průchod proudů při komutaci [5]

Stav průběhu proudu při komutaci:

- ideální (nelze docílit),
- reálný (nejlepší možný),
- podkomutovaný (nežádoucí),
- překomutovaný (nežádoucí).



Obrázek 1.3 – Stavy přechodů proudu při komutaci [5]

- Stavy průběhu proudu se mění vlivem komutačního pomocného vinutí zapojeného do série s kotvou. Při špatném návrhu se stroj překomutuje, nebo podkomutuje, důsledkem je vznik jiskření mezi komutátorem a kartáči.

## 1.4.3 KARTÁČE

Kartáče jsou také mechanické součásti. Dosedají vodivě na komutátor a protéká přes ně celý proud potřebný k výkonu práce ve stroji. Kartáče musejí dosedat na komutátor s co nejvyšší přitlačnou silou, aby byl zajištěn minimální přechodový odpor. Při nedodržení podmínky malého přechodového odporu se na komutátoru zvyšují přechodové ztráty, připojenému napětí je kladen velký odpor a tato skutečnost zapříčiňuje velké tepelné ztráty, zahřívání komutátoru a kartáčů.

### 1.4.3.1 KOVOVÉ KARTÁČE

Pro dokonalý elektrický kontakt postačuje i malá přitlačná síla na komutátor. Kovový kartáč tlačí na komutátor vlastní pružností. Odpor je při práci motoru stejnoměrný a relativně malý. Jsou nejčastěji vyráběny ze slitin bronzu a stříbra, pro dosažení dobré vodivosti a mechanické odolnosti. Ke snížení jiskření se používají kondenzátory.



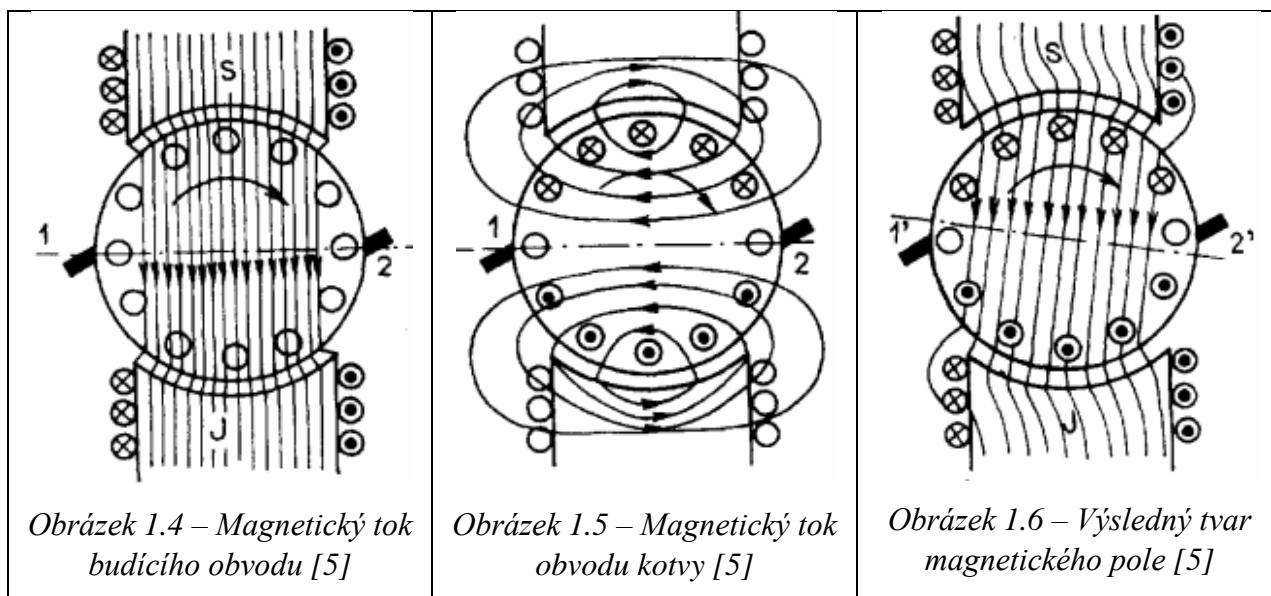
### 1.4.3.2 GRAFITOVÉ KARTÁČE

Dosedají na komutátor větší plochou než kovové kartáče, a tím mohou přenášet i větší výkony. Je nutné zajistit velkou přitlačnou sílu a to nejčastěji pružinou. Při delším používání zanáší prach z grafitu komutátor a vnitřní prostředí motoru. Grafitové kartáče je nutné odrušovat z důvodu vysokého rušení vysílaného do okolí. Používají se u motorů pro velké výkony a pro motory, které je nutno krátkodobě přetěžovat.

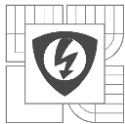
## 1.5 REAKCE KOTVY

Ve stejnosměrném stroji existuje magnetické pole budicího vinutí a také pole kotvy. Pole kotvy vytváří vinutí navinuté na kotvě, jež jím prochází proud přiváděn přes komutátor. Toto pole, vytvořené vinutím kotvy, se nazývá reakce kotvy. Obě pole, jak budicí, tak reakce kotvy se sčítají a deformují tak ideální budicí magnetické pole.

Tabulka 1.1 – Vliv reakce kotvy na pole budicího vinutí



Na obrázku 1.4 je vyobrazeno magnetický tok budicího vinutí statoru, nejčastěji permanentními magnety. Na obrázku 1.5 je magnetický tok kotvy, přičemž jeden závit je ve stavu komutace. Na posledním obrázku 1.6 je výsledný tvar magnetického pole po vektorovém sečtení toku budicího a kotvy. Tímto natočením výsledného budicího magnetického toku se natáčí magnetická neutrála, při nevykompenzování vzniká značné jiskření na komutátoru. Natočením kartáčů do úrovně magnetické neutrály se tento problém vyřeší.



## 1.6 INDUKOVANÉ NAPĚTÍ KOTVY A ELEKTROMAGNETICKÝ MOMENT

Stejnoseměrný motor si můžeme představit jako soustavu s dvěma cívkami, které vytvářejí střední hodnotu momentu, střední mechanickou energii, a tudíž i střední výkon. Komutátor mění směry proudu ve vinutí kotvy tak, aby se pod póly se stejnou polaritou nacházeli vodiče se stejným směrem proudu. A proto platí následné vztahy.

Je nutné zavést potřebné pojmy pro odvozování.

Za předpokladu neměnné vzduchové mezery lze říci, že indukčnost budicího vinutí  $L_{11}$  a indukčnost vinutí rotorové kotvy  $L_{22}$  se nemění při změně úhlu  $\vartheta_m$ , a tudíž je konstantní. S různým natočením se mění pouze vzájemná indukčnost vznikající mezi budicí indukčností  $L_{11}$  a indukčností kotvy  $L_{22}$ , nazveme ji vzájemnou indukčností  $L_{12}$ .

Pro magnetickou energii za případu linearity lze psát

$$W_m = 0,5 \cdot L_{11} \cdot i_1^2 + 0,5 \cdot L_{22} \cdot i_2^2 + i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12m} \cdot \cos \vartheta_m, \quad (3.4)$$

kde  $i_1$  je proud protékající budicím vinutím,  $i_2$  je proud kotvou a  $L_{12m}$  je maximální hodnota vzájemné indukčnosti.

Pro okamžitou hodnotu momentu platí výpočet

$$m_i = \frac{\partial W_m}{\partial \vartheta_m} = -i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12m} \cdot \sin \vartheta_m. \quad (3.5)$$

Jako magnetický budicí tok ve vzduchové mezeře  $\phi_1$  lze označit součin  $i_1 \cdot L_{12m}$ .

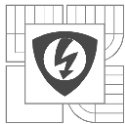
Po dosazení do *Rovnice (1.3)* dostaneme vztah

$$m_i = -i_2 \cdot \phi_1 \cdot \sin \vartheta_m. \quad (3.6)$$

Při otočení jednoho závitu mezi dvěma póly vznikne vztah pro střední hodnotu momentu

$$M = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi m_i \cdot d\vartheta_m = \frac{2 \cdot i_2 \cdot \phi_1}{\pi}. \quad (3.7)$$

Kotva je navinuta z vodičů, které se jako celek označují  $N$ , to znamená, že závitů je  $N/2$ . Pólové dvojice se označují  $p$ . Celkový proud protékající kotvou vypočteme  $I_2 = I_2 \cdot 2a$ . Kde  $2a$  je počet paralelních větví vinutí kotvy. Po dosazení do *Rovnice (1.5)* dostaneme výraz pro střední hodnotu momentu stejnosměrného stroje



$$M_i = \frac{p \cdot N \cdot \phi_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a} = K_m \cdot \phi_1 \cdot I_2 . \quad (3.8)$$

Kde  $K_m = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$  je momentová konstanta stroje.

Poté lze říci, že když na vodič o délce  $l$  působí magnetické pole o indukce  $B$  a neprotékán proudem i působí na něj síla  $F$ . Kde  $l$  a  $B$  se společně násobí vektorově.

Na hřídeli působí moment  $M$  snížen (zvýšen u dynama) o ztrátový moment ve stroji

$$M = M_i \pm \Delta M , \quad (3.9)$$

u točivých pohybů je vztah mezi momentem a výkonem následující

$$P = M \cdot \omega , \quad (3.10)$$

kde úhlová rychlost je  $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$  nutno dosazovat za  $n$  (ot/min).

Pro elektrický výkon stroje platí rovnice

$$P_{iel} = U_i \cdot I_2 , \quad (3.11)$$

A pro indukované napětí kotvy z předešlých vztahů pak platí

$$U_i = 2 \cdot \pi \cdot K_m \cdot \phi_1 \cdot n = \frac{p \cdot N}{a} \cdot \phi_1 \cdot n = K_u \cdot \phi_1 \cdot N_1 , \quad (3.12)$$

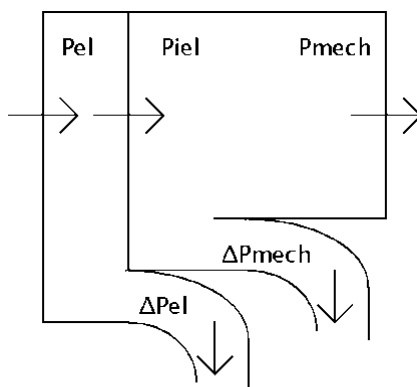
kde  $K_u = \frac{p \cdot N}{a}$  je napěťová konstanta stroje.

Z Rovnice (1.9) pak vyplývá vztah mezi momentovou a napěťovou konstantou stroje

$$K_m = \frac{K_u}{2 \cdot \pi} . \quad (3.13)$$

### 1.6.1 ZTRÁTY VE STEJNOSMĚRNÉM STROJI

Výkon, který je využitý pro chod stroje, se zmenší o ztráty. Ztráty se dělí na mechanické a na elektrické. Na obrázku jsou vyobrazeny energetické pochody v dynamu, u motoru přichází výkon elektrický a vychází mechanický ochuzen o ztráty elektrické a mechanické.



Obrázek 1.7 – Ztráty v dynamu

Ztráty elektrické se dělí na:

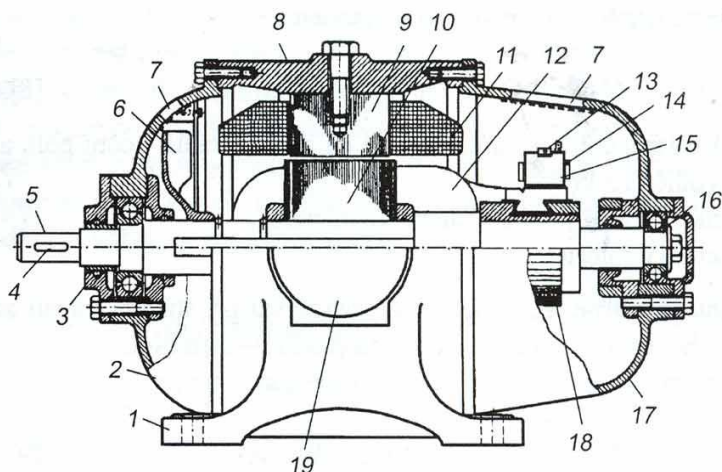
- ztráty ve vinutí,
- ztráty na přechodu komutátor – kartáč,
- ztráty odporem kartáčů,
- další ztráty (ztráty přívodních kabelů apod.).

Ztráty mechanické se dělí na:

- ztráty třecí (ložiska nejsou naprosto dokonalá),
- ztráty vlivem setrvačnosti (nelze zanedbat váhu a rozměry kotvy),
- ztráty ventilační (stroj je nutné chladit a ventilátor klade odpor vzduchu),
- další ztráty (nedokonalé vystředění kotvy – takzvané házení rotoru).

## 2 PROVEDENÍ STEJNEOSMĚRNÝCH MOTORŮ

### 2.1 KONSTRUKCE

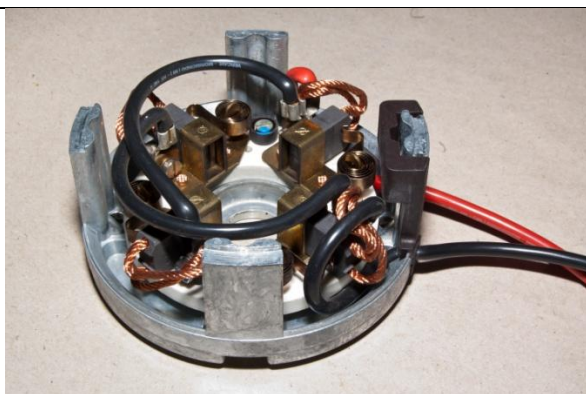


Podélný řez stejnosměrným strojem:

1 - patka motoru, 2 - ložiskový štít, 3 - kryt ložiska, 4 - drážka pro péro, 5 - hřídel, 6 - ventilátor, 7 - větrací otvory, 8 - magnetový věnec, 9 - pól magnetu, 10 - plechy kotvy, 11 - budící cívka statoru, 12 - rotor (kotva), 13 - pružina kartáče, 14 - držák kartáče, 15 - kartáč, 16 - kuličkové ložisko, 17 - zadní štít, 18 - komutátor, 19 - svorkovnice

Obrázek 2.1 – Konstrukce stejnosměrného stroje [7]

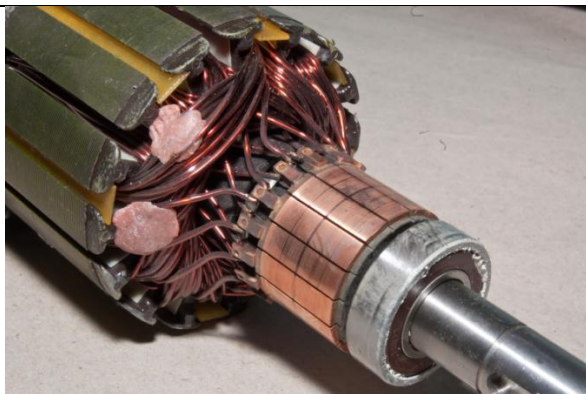
### VZHLED KOMPONENTŮ



Obrázek 2.2 – Uchycení kartáčů



Obrázek 2.3 – Komutátor a kartáče



Obrázek 2.4 – Rotor komutátor



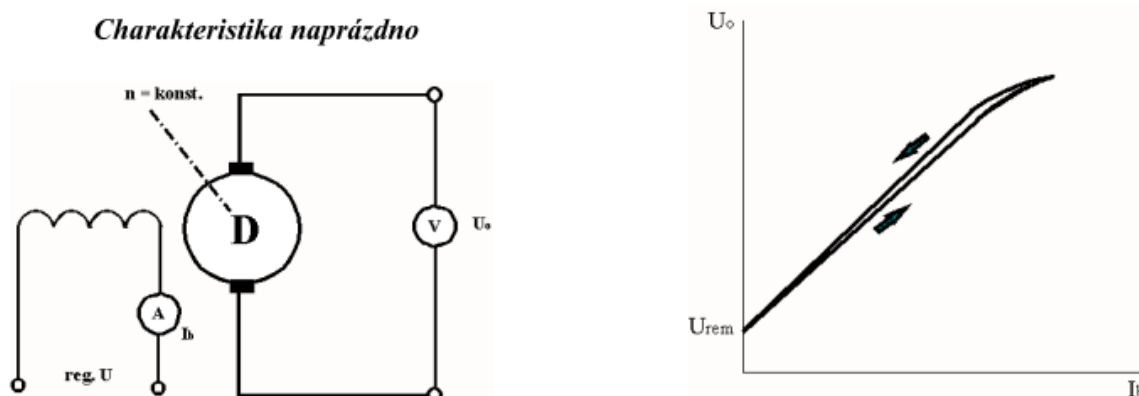
Obrázek 2.5 – Stator s permanentními magnety

Tabulka 2.1 – Tabulka obrázků stejnosměrného stroje

## 2.2 TYP BUZENÍ

Řešení problematiky buzení stroje je nutno řešit pouze u motorů s budicím vinutím. Motory s permanentními magnety se klasifikují jako motory s konstantním cizím buzením. Stroje s budicím vinutím můžeme připojit několika variantami. Zapojení využijeme takové, u kterého nám vyhovuje charakteristika pro naši danou aplikaci.

### 2.2.1 CHARAKTERISTIKA NAPRÁZDNO



Obrázek 2.6 – Schéma pro měření charakteristiky naprázdno [5]

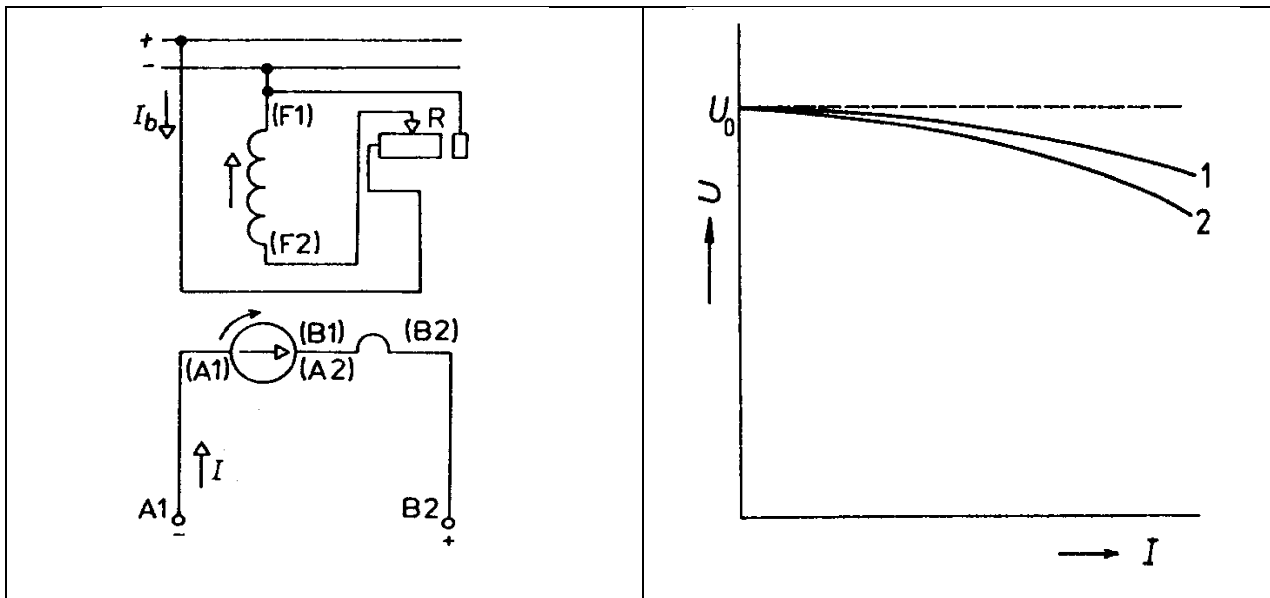
Charakteristika naprázdno se měří při jmenovitých otáčkách stroje, v režimu dynamu, mění se budicí proud (cize buzený) a odečítáme indukované napětí vzniklé na kotvě. Vlivem remanentního napětí bude mít charakteristika dvě větve, při měření „odspoda“ a „odshora“, protože je část stroje buzena stejnosměrně. Při vyšších hodnotách budicího proudu se na charakteristice projeví i sycení magnetického obvodu.

Svorky strojů se označují ve schématech následujícím způsobem:

- vinutí kotvy – A1, A2
- vinutí pomocných pólů – B1, B2
- kompenzační vinutí – C1, C2
- vinutí cizího buzení – F1, F2
- vinutí paralelního buzení – E1, E2
- vinutí sériového buzení – D1, D2

### 2.2.2 CIZE BUZENÝ STROJ

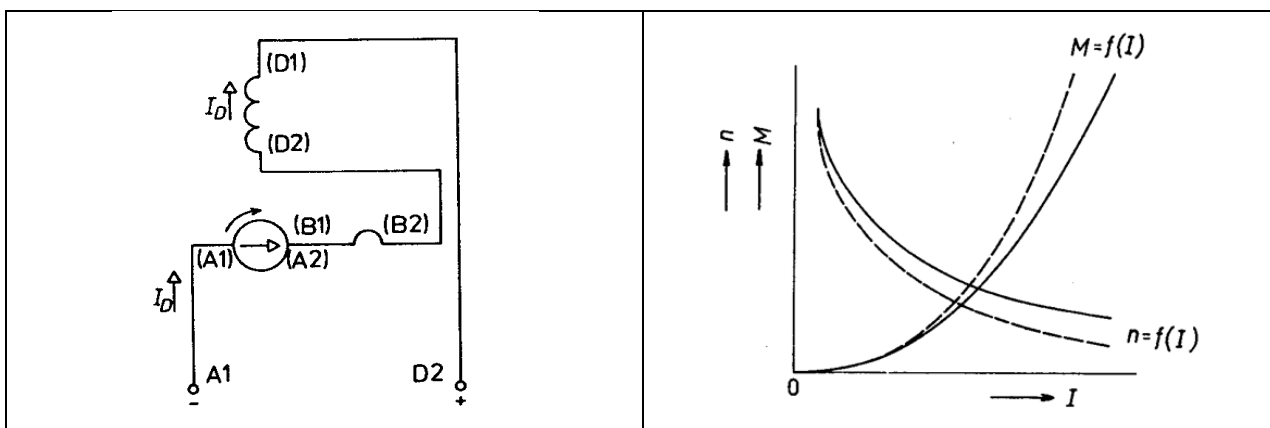
Cizí buzení je klasifikováno za buzení, kterému je přivedené jako zdroj proudu vtékající do budicího vinutí z cizího (nezávislého) stejnosměrného zdroje elektrické energie. Charakteristika je velmi tvrdá.



Obrázek 2.7 – Cize buzené dynamo [8]

### 2.2.3 SÉRIOVĚ BUZENÉ DYNAMO

U sériového buzení se budicí vinutí zapojuje do série s kotvou. Budicí proud je stejný jako proud kotvy, a tudíž je magnetický tok závislý na proudu kotvy. To znamená, že buzení je závislé na zatížení motoru. Tím dostáváme měkkou momentovou charakteristiku. Při nulovém zatížení jsou otáčky téměř nekonečné a hrozí zničení stroje. Při velkém zatížení a nízkých otáčkách stroj vykazuje velký moment na hřídeli.



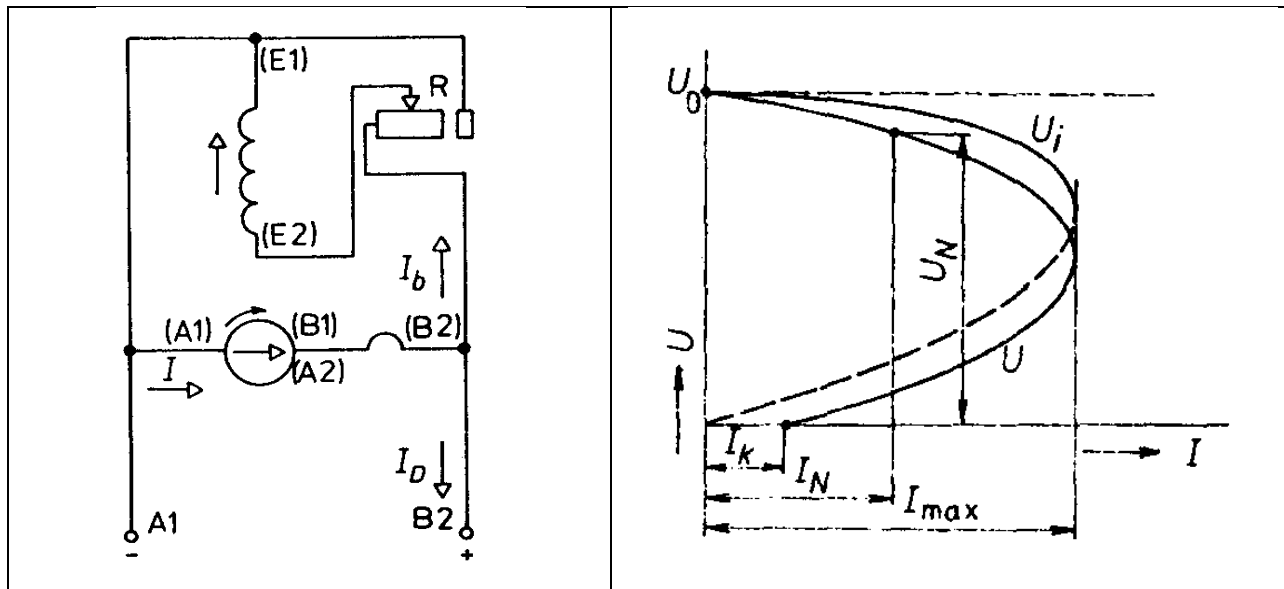
Obrázek 2.8 – Sériově buzené dynamo [8]

Řízení rychlosti otáčení sériově buzeného motoru lze několika způsoby:

- změnou odporu  $R_s$  v obvodu kotvy,
- změnou napětí na kotvě,
- změnou budicího proudu paralelně připojeným odporem k budicímu vinutí.

### 2.2.4 PARALELNĚ (DERIVAČNÍ) BUZENÉ DYNAMO

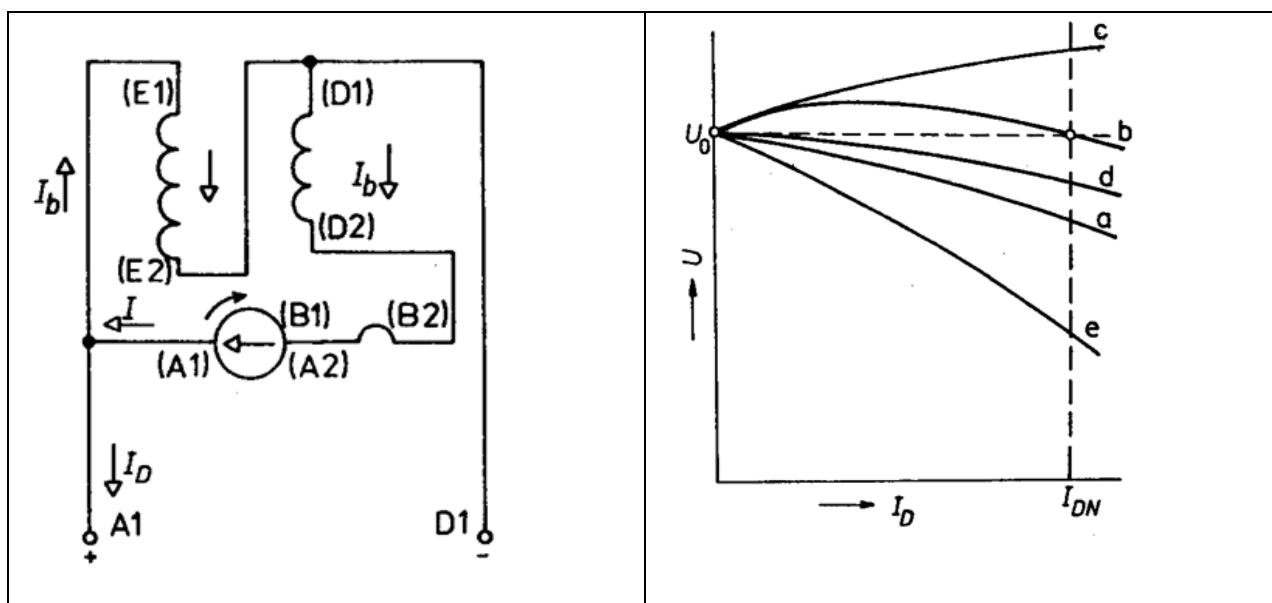
U derivačně buzeného stroje je budicí vinutí zapojeno paralelně s kotvou. Při větším zatěžování klesá indukované napětí, klesá budicí proud, a tím se stroj odbuzuje, celý proces snižování se poté opakuje. Derivační buzení má poměrně měkkou charakteristiku.



Obrázek 2.9 – Derivačně buzené dynamo [8]

### 2.2.5 SÉRIO-PARALELNĚ (KOMPAUDNÍ) BUZENÉ DYNAMO

Kompaundní buzení se navrhuje nejčastěji tak, aby při zesílení magnetického pole při zatížení krylo úbytky napětí reakcí kotvy a na odporech. Tím získáme velmi tvrdou charakteristiku. Při překompaundování motoru se jeho charakteristika mění na stoupající (využití u obloukového svařování).



Obrázek 2.10 – Kompaundně buzené dynamo [8]



## 2.3 TYPY VINUTÍ

Aby byl chod motoru rovnoměrný, popřípadě napětí dynama málo zvlněné, je podmínkou mít na kotvě co největší počet cívek a jim odpovídající počet lamel na komutátoru. Vinutí je rozděleno lamelami do kruhu a přiložením kartáčů se rozdělí na paralelní větve. Proto musí být vinutí souměrné se stejnými cívkami. Cívky mají velký počet závitů do série a svým koncem i začátkem jsou připojeny na lamely komutátoru.

### 2.3.1 SMYČKOVÉ VINUTÍ KOTVY

Smyčka vinutí (pro názornost je brána jedna smyčka, ve skutečnosti je to určitý počet závitů) je připojena začátkem na lamelu a koncem na lamelu sousední, pokud se připojí na sousední doprava, vinutí je nekřížené. Při připojení na levou sousední lamelu se vinutí zkříží, a tím vzniká tzv. křížové vinutí.

U smyčkového vinutí je vždy počet paralelních větví  $2 \cdot a$  stejný jako počet pólů  $2 \cdot p$ , takže platí vztah:  $2 \cdot a = 2 \cdot p$ .

To je u jednoduchého vinutí největší možný počet paralelních větví. Proto se smyčkovému vinutí říká paralelní a používá se u strojů pro nízká napětí a velké proudy.

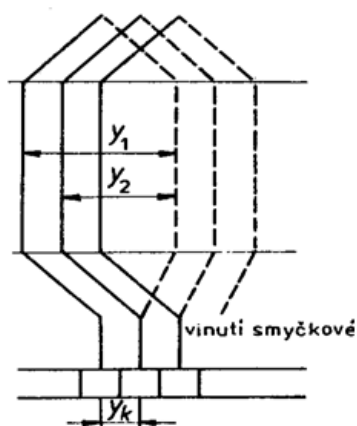
### 2.3.2 VLNOVÉ VINUTÍ KOTVY

Vlnové vinutí se moc neodlišuje od smyčkového, rozdíl je pouze v tom, že se začátek a konec vinutí nepřipojuje na sousední lamelu, ale na lamelu vzdálenou o  $2 \cdot \tau_p$ . Kde  $\tau_p$  je pólová rozteč. Vinutí může být také křížené i nekřížené.

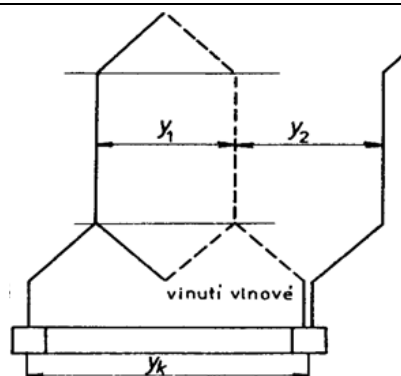
Tím pádem se vinutí kartáči rozdělí na dvě paralelní větve. Tudíž platí vztah  $2 \cdot a = 2$  bez ohledu na počet lamel na komutátoru.

U vlnového vinutí je maximální počet vodičů zapojený v sérii, a proto se vlnové vinutí hodí pro stroje na větší napětí a menší proudy.

Tabulka 2.2 – Typy vinutí



Obrázek 2.11 – Smyčkové vinutí [8]



Obrázek 2.12 – Vlnové vinutí [8]

## 3 MĚŘENÍ MOTORU



**ATAS elektromotory Náchod a.s.**

Bratři Čapků 722, CZ-547 30 Náchod

Tel. 00420-491 446 111

e-mail: prodej@atas.cz

Fax 00420-491 426 248

http://www.atas.cz

**Stejnoseměrné elektromotory s permanentními magnety**

D.C. permanent-magnet motors

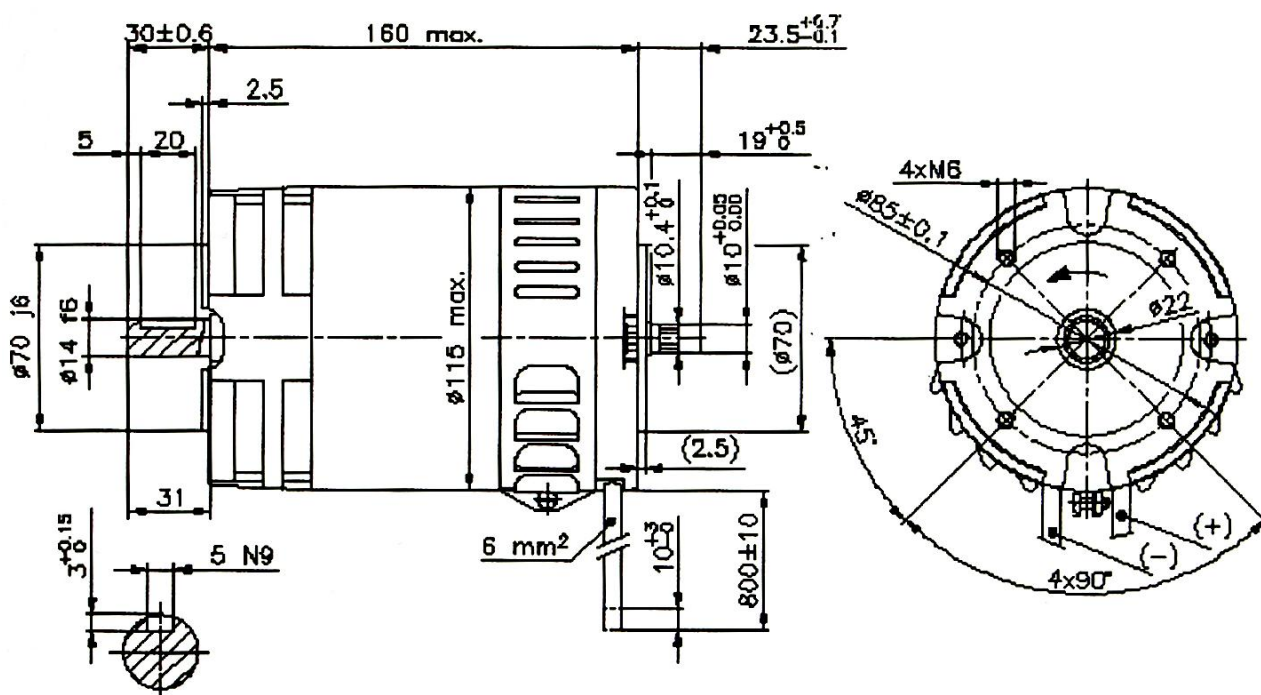
Gleichstrommotoren mit Dauermagneterregung

**P2XR492**

### 3.1 ŠTÍTKOVÉ HODNOTY MOTORU A TECHNICKÝ VÝKRES

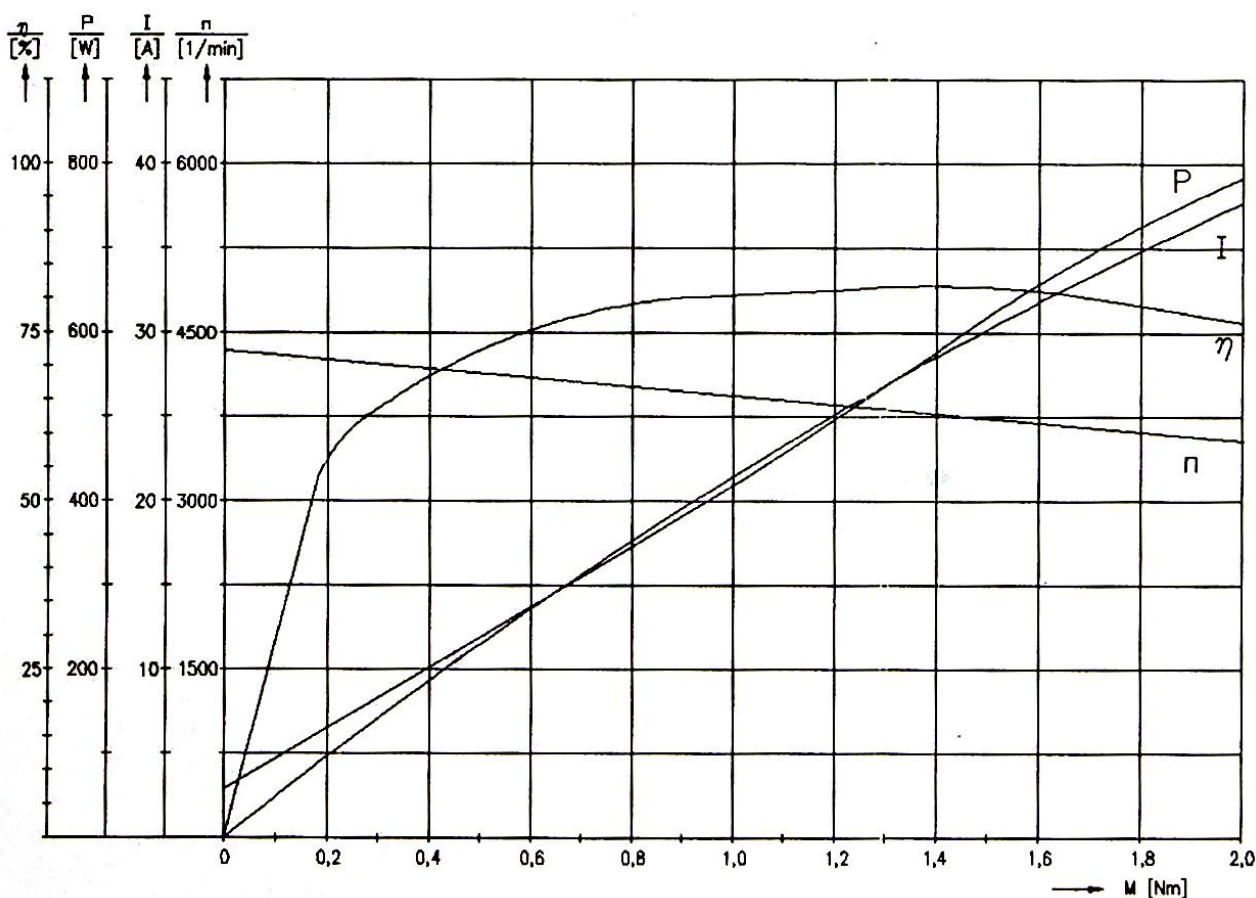
Tabulka 3.1 – Štítkové hodnoty motoru

Výkon	600 W	Smysl toč.	oba
Napětí	24 V =	Provoz	S1
Proud	33 A	Krytí	IP20
Otáčky	3600min <sup>-1</sup>	Hmotnost	5 Kg



Obrázek 3.1 – Technický výkres motoru (viz příloha)

## 3.2 CHARAKTERISTIKY MOTORU



Obrázek 3.2 – Momentové charakteristiky motoru (viz příloha)

## 3.3 VYPRACOVÁNÍ PROTOKOLU

### 3.3.1 POSTUP PŘI MĚŘENÍ

1. Upevním motor do přípravku pro měření, zprvu s odpojeným dynamometrem pro měření bez zatížení.
2. Připojím motor na napájecí napětí 24 V stejnosměrných, tak, aby smysl otáčení byl CCW [counter clock wise] – proti směru hodinových ručiček.
3. Při roztočení odečtu odebíraný proud a otáčky na hřídeli.
4. Stejně měření pro CW [clock wise] – po směru hodinových ručiček. Z důvodů stejné teploty motoru.
5. Připojím motor k dynamometru a nastavuji po kroku 0,2 Nm moment na hřídeli, do hodnoty 3 Nm, přičemž odečítám proud kotvou a otáčky rotoru.
6. Z naměřených hodnot sestrojím tabulku a vypočítám úhlovou rychlost, výkon na hřídeli, příkon do motoru a účinnost stroje.
7. Z naměřených a vypočtených hodnot zhotovím grafy (momentové charakteristiky).



### 3.3.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY A VÝPOČTY

Tabulka 3.2 – Naměřené hodnoty na motoru P2XR492

Směr ot.	M [Nm]	n [min <sup>-1</sup> ]	ω [rad <sup>-1</sup> ]	P [W]	U [V]	I [A]	P <sub>1</sub> [W]	η [%]
CCW	0,0	4232	443,17	0,00	24,0	2,85	68,4	0,0
	0,2	4159	435,53	87,11	24,0	6,90	165,6	52,6
	0,4	4065	425,69	170,27	24,0	10,50	252,0	67,6
	0,6	3990	417,83	250,70	24,0	14,40	345,6	72,5
	0,8	3925	411,03	328,82	24,0	18,40	441,6	74,5
	1,0	3834	401,50	401,50	24,0	22,10	530,4	75,7
	1,2	3779	395,74	474,88	24,0	25,90	621,6	76,4
	1,4	3688	386,21	540,69	24,0	29,60	710,4	76,1
	1,6	3632	380,34	608,55	24,0	33,50	804,0	75,7
	1,8	3544	371,13	668,03	24,0	37,10	890,4	75,0
	2,0	3239	339,19	678,37	24,0	41,10	986,4	68,8
	2,2	3365	352,38	775,24	24,0	45,30	1087,2	71,3
	2,4	3224	337,62	810,28	24,0	49,20	1180,8	68,6
	2,6	3147	329,55	856,84	24,0	52,10	1250,4	68,5
	2,8	3015	315,73	884,04	24,0	57,50	1380,0	64,1
	3,0	2870	300,55	901,64	24,0	61,00	1464,0	61,6
CW	0,0	4264	446,53	0,00	24,0	2,84	68,2	0,0

- Příklad výpočtu pro moment  $M = 0,2$  Nm

Vypočítáme úhlovou rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,1415 \cdot 4159}{60} = 435,53 \text{ rad/s}, \quad (3.1)$$

využijeme rovnici pro výpočet výkonu na hřídeli

$$P = M \cdot \omega = 0,2 \cdot 435,53 = 87,11 \text{ W}, \quad (3.2)$$

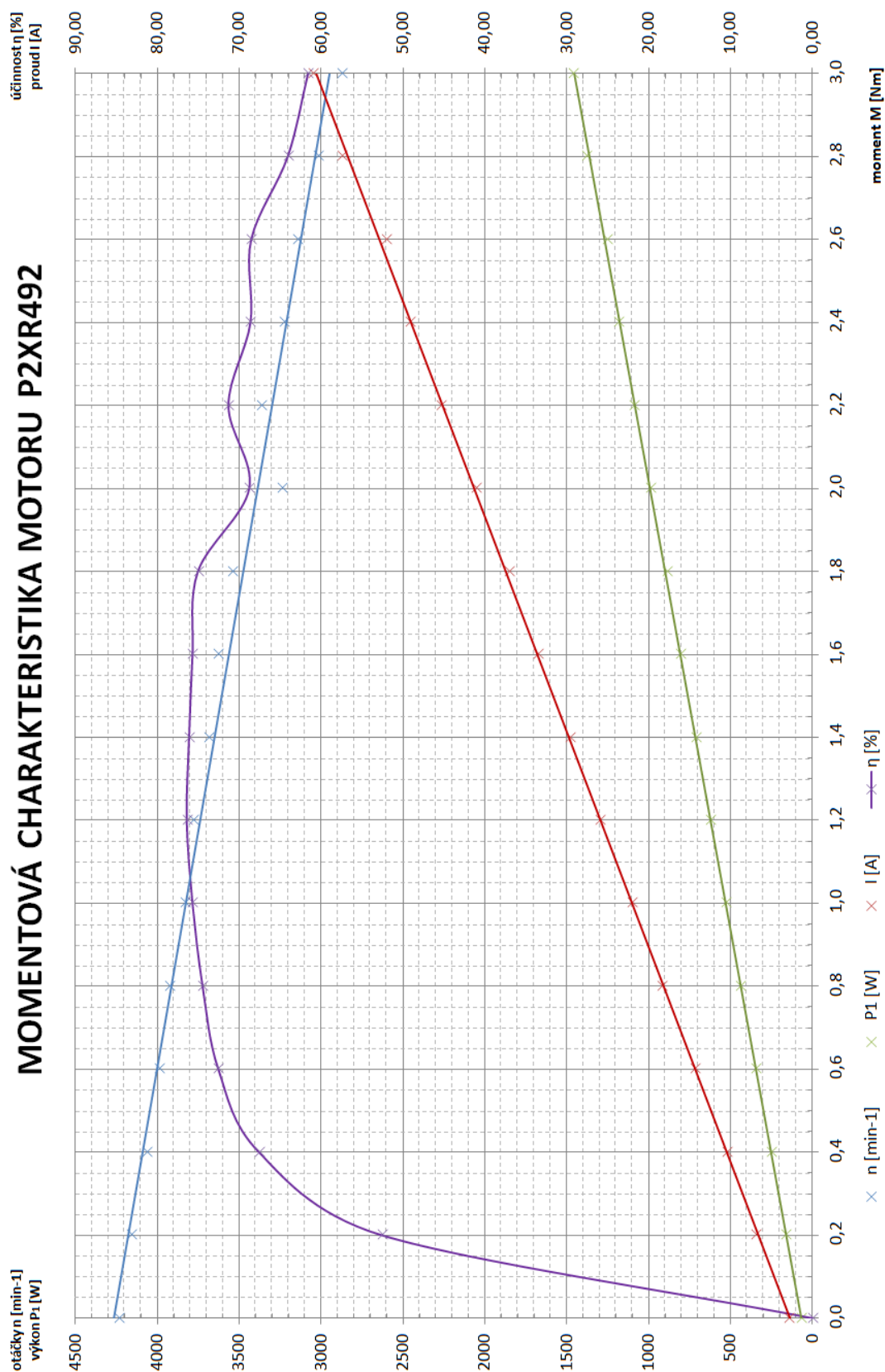
z napětí a odebíraného proudu bude vypočítán příkon motoru

$$P_1 = U \cdot I = 24,0 \cdot 6,90 = 165,6 \text{ W}. \quad (3.3)$$

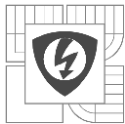
Ze známého příkonu a výkonu lze zjistit účinnost

$$\eta = \frac{P}{P_1} \cdot 100 = \frac{87,11}{165,6} \cdot 100 = 52,6 \%. \quad (3.4)$$

### 3.3.3 MOMENTOVÉ CHARAKTERISTIKY MOTORU P2XR492



Obrázek 3.3 – Momentová charakteristika motoru P2XR492



## 4 MOŽNOSTI INOVACE STEJNEOSMĚRNÉHO STROJE

V této kapitole se budu snažit o navrhnutí lepších vlastností stejnosměrného stroje poskytnutého od firmy *ATAS elektromotory Náchod a.s.* s výrobním názvem *P2XR49*. Možnost zvýšení účinnosti, lze provádět zvýšením parametrů buzení, snížením odporu vinutí kotvy (konstrukce rotoru provedena tak, aby bylo možné vložit vinutí o větším průřezu), zmenšením ztrát vířivými proudy v rotoru (rotor sestaven z jemnějších plechů) nebo snížením ztrát mechanických a to ventilačních (upravit ventilátor a možnost chlazení), snížit tření v ložiskách (použitím ložisek s lepšími vlastnostmi) nebo například použitím jiných kartáčů (zmenšení přitlačné síly).

V posledních letech s velkým rozmachem výkonových spínacích součástek, použitelných pro danou aplikaci, vznikla nová možnost komutace stejnosměrných strojů a to elektronická komutace, je to proces změny polarity napájecího napětí pomocí elektroniky.

### 4.1 ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI

Zvýšení účinnosti elektrického stroje lze provádět zlepšením parametrů, které udávají velikost ztrát výkonu, nebo snížením parametrů, které kladou stroji odpor a tím snižují jeho výkon.

#### 4.1.1 VELIKOST BUDÍCÍCH PARAMETRŮ

Budícími parametry u stejnosměrného stroje s permanentními magnety, je rozuměna parametrů statorových magnetů, jež vytvářejí magnetické pole statoru.

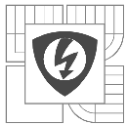
V poslední době je trendem používat vzácné zeminy, které mají lepší parametry intenzity magnetického pole při zachování stejných nebo dokonce i menších rozměrů magnetu, než u feritových materiálů.

Nevýhodou je, že Asijské země mají na prodej vzácných zemin monopol a tudíž určují cenu Evropskému trhu.

Cena magnetů potřebných pro výrobu jednoho motoru je přibližně stejná jako cena podobného motoru vyrobeného v Asii. Což je velmi neekonomické!

#### 4.1.2 ZMĚNA TYPU A PARAMETRŮ VINUTÍ KOTVY

Zvýšení účinnosti změnou parametrů vinutí kotvy docílíme například snížením napětového úbytku ve vedení vinutí. To znamená zlepšení vodivosti (snížení odporu) vodiče použitého pro navinutí rotorové kotvy. To lze docílit například zvětšením průřezu vodiče použitého pro navinutí rotorové kotvy nebo použitím materiálu vodiče s menším odporem. Popřípadě navinutí na rotorovou kotvu vinutí skládajícího ze dvou paralelně vedených vodičů vinutí (zvětšení průřezu).



### 4.1.3 ZMENŠENÍ ZTRÁT VÍŘIVÝMI PROUDY

Další možnost zvýšení účinnosti je snížením ztrát důsledkem vířivých proudů v rotoru. To lze dosáhnout použitím plechů s menší tloušťkou nebo využití jiné izolace mezi plechy a tím zvětšení magnetického obvodu rotorové kotvy.

### 4.1.4 ZMENŠENÍ VZDUCHOVÉ MEZERY

Zmenšením vzduchové mezery se mění i účinnost stroje. A to důsledkem zmenšení ztrát v magnetickém obvodu. Největší ztráty v magnetickém obvodu představuje vzduchová mezera mezi rotorovým a statorovým magnetickým obvodem. Zmenšením mezery se sníží odpor kladený magnetickému poli a tím zmenší námi nechtěné ztráty ve vzduchové mezeře.

### 4.1.5 ZMENŠENÍ VENTILAČNÍCH ZTRÁT

Snížit ventilační ztráty lze změnit typ ventilace, zmenšením chladicího ventilátoru sice dosáhneme menšího odporu vzduchu kladenému ventilátoru, ale zároveň se i zvětší ztráty důsledkem větších tepelných ztrát. Je nutná změna konstrukce stroje, tak aby bylo teplo lépe odváděno do okolí, případně vyfukováno do prostoru.

### 4.1.6 ZMENŠENÍ MECHANICKÝCH ZTRÁT

Mechanické ztráty lze dosáhnout snížením třecích ztrát v úložných ložiskách rotoru. Použitím ložisek s lepšími třecími parametry je tento problém vyřešen. Nevýhodou je pouze cena ložisek s nízkým třením a údržba těchto ložisek.

Dále lze zmenšit přitlačná síla kartáčů, ale pro zanechání dosavadních parametrů musíme měnit typ materiálu pro výrobu kartáčů a tím se zvýší výrobní cena.

### 4.1.7 ZMENŠENÍ ZTRÁT NA KOMUTÁTOU

Velký podíl ztrát vzniká také na přechodu komutátor - kartáč, mezi nimiž vzniká přechodový odpor. Velikost přitlačné síly kartáčů ke komutátoru a jejich vzájemný povrch mění přechodový odpor a tím i ztráty vzniklé na přechodném odporu mezi komutátorem a kartáčem. Při velkém přechodném odporu se vlivem velkého ztrátového výkonu velmi zahřívá celý objekt, a tudíž zvětšuje ztráty. Nežádoucí jiskření a elektrické oblouky také zahřívají objekt.

## 4.2 ZMĚNA TYPU KOMUTACE

Použitím EC (Elektronic Commutation) motoru se odstraňuje nutnost použití mechanického komutátoru. Mechanický komutátor má nevýhody jiskření mezi komutátorem a kartáči, mechanické ztráty vzniklé přitlačováním kartáčů na komutátor a podobné neduhy, které zkracují životnost stroje.

Pro možnost elektronické komunikace je nutné snímat otáčky na rotoru stroje, nejčastěji je použito čidlo skládající se ze tří hallových sond pootočených vůči sobě o 120°. Dále lze použít resolver s rozmachem digitalizace analogového signálu je informace lehce použitelná pro regulaci. Tato informace je následně posílána do řídicí elektroniky, která podle daných otáček aktivuje výkonové spínací součástky, které mění polaritu napájecího napětí rotorové kotvy.

## 5 INOVACE ZMENŠENÍM ÚBYTKU NA KOMUTÁTORU

Tato kapitola je věnována seznámením s výpočtem přechodného odporu kontaktu komutátor – kartáč. Dále analýze komutátorových lamel a kartáčů, jejich opotřebování při chodu, v přítomnosti prachových částic a nadměrné vlhkosti (výparů), oválnému tvaru komutátoru, různých přítlačkových sil kartáčů, dlouhodobému přetěžování stroje a podobných příčin, které snižují účinnost stejnosměrného stroje.

### 5.1 PŘECHODOVÝ ODPOR KONTAKTU KOMUTÁTOR KARTÁČ

Odstavec je věnován teoretickému výpočtu přechodového odporu komutátor – kartáč. Jednotlivé složky jako je odpor vodiče a stykový odpor sestávající se z odporu úžinového a odporu cizích vrstev.

Pro přechodový odpor kontaktu komutátor - kartáč platí rovnice

$$R_P = R_V \cdot R_S, \quad (5.1)$$

kde  $R_V$  je odpor materiálu kartáče a  $R_S$  je odpor stykový, vypočítáme je následovně

$$R_V = \frac{\rho \cdot l}{S_C}. \quad (5.2)$$

$\rho$  je měrný odpor,  $l$  je délka kartáče a  $S_C$  je průřez kartáče

$$R_S = R_U + R_{CV} = \frac{c}{(0,1 \cdot F)^K}. \quad (5.3)$$

$R_U$  je úžinový odpor a  $R_{CV}$  je odpor cizích vrstev. Získáme je následně

$$R_U = \frac{\rho_M}{2 \cdot n \cdot r_o}, \quad (5.4)$$

$\rho_M$  je součinitel odporu daného materiálu,  $n$  je počet styků a  $r_o$  je poloměr ploch

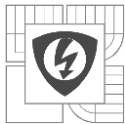
$$R_{CV} = \frac{4 \cdot \rho_{CV} \cdot 2 \cdot h}{d_{CV}^2 \cdot \pi}, \quad (5.5)$$

Kde  $\rho_{CV}$  je součinitel odporu cizích vrstev,  $h$  je hloubka cizí vrstvy a  $d_{CV}$  je průměr styku.

V další metodě výpočtu  $R_S$  se nachází konstanta  $c$ , v níž je zahrnut stav povrchu styku a materiál,  $F$  znázorňuje přítlačnou sílu kartáčů a  $K$  odpovídá tvarovému koeficientu styku.

$$R_S = \frac{c}{(0,1 \cdot F)^K}. \quad (5.6)$$





## 5.2 PŘÍKLAD VÝPOČTU

Kapitola názorně poukáže na vliv přitlačné síly kartáčů ke komutátoru, z hlediska úbytku napětí i ztrátového výkonu.

### 5.2.1 VLASTNÍ VÝPOČET

Výpočet odporu při přitlačné síle  $F = 1 \text{ N/cm}^2$ , tato hodnota je podle mého názoru nedostatečná, protože způsobuje velké napěťové úbytky a ztrátový výkon.

Pro výpočet využiji empirický vzorec pro přechodový odpor  $R_s$ , odpor  $R_v$  bude zanedbán. Konstantu  $c = 0,018$  volím pro kontakt měď-uhlík. Tvarový koeficient  $k=1$  volím pro obdélníkový tvar styku z rozmezí 0,6-1. Přitlačná síla působí na plochu kartáče dosedající na komutátor a má hodnotu  $S = 3 \text{ cm}^2$ .

$$R_P = \frac{c}{(0,1 \cdot F)^K} = \frac{0,018}{(0,1 \cdot 3)^1} = 0,06 \, \Omega . \quad (5.7)$$

Výpočet úbytku napětí na komutátoru

$$\Delta U_p = R_P \cdot I_n = 0,06 \cdot 33 = 1,98 \text{ V} , \quad (5.8)$$

z tohoto napěťového úbytku budou vypočteny výkonové ztráty

$$\Delta P_p = \Delta U_p \cdot I_n = 65,34 \text{ W} . \quad (5.9)$$

Další výpočet bude prováděn za zvýšené přitlačné síly s to  $F = 2 \text{ N/cm}^2$ , ostatní parametry budou zanechány.

$$R_P = \frac{c}{(0,1 \cdot F)^K} = \frac{0,018}{(0,1 \cdot 6)^1} = 0,03 \, \Omega . \quad (5.10)$$

Výpočet úbytku napětí na komutátoru

$$\Delta U_p = R_P \cdot I_n = 0,06 \cdot 33 = 0,99 \text{ V} , \quad (5.11)$$

z tohoto napěťového úbytku budou vypočteny výkonové ztráty

$$\Delta P_p = \Delta U_p \cdot I_n = 32,67 \text{ W} . \quad (5.12)$$

### 5.2.2 ZHODNOCENÍ VÝPOČTU

Po porovnání obou vypočtených výkonových ztrát je zřetelné, že ztráty jsou přímo úměrné velikosti přitlačné síly. Bohužel, tuto skutečnost nelze praktikovat do nekonečna. (viz kapitola 5.3) Ztrátový výkon vychází 5,4 % ze jmenovité hodnoty, což odpovídá reálnému stavu. Dovolенý ztrátový výkon se udává 4-6 % ze jmenovité hodnoty, což je splněno.



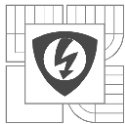
## 5.3 TYPICKÉ PROBLÉMY KARTÁČŮ A KOMUTÁTORU, PŘÍČINY A JEJICH ODSTRANĚNÍ

Podkapitola pojednává o problémech kartáčů a komutátoru. Příznaky, které se projeví při pravděpodobné příčině problému a jeho případné odstranění.

### 5.3.1 PŘÍZNAKY

Příznaky nejpravděpodobnějších vad, číslem označen typ vady, k němuž odpovídá daný souhrn možných oprav (viz níž).

A) Jiskření při odchodu z lamely	1-26
B) Jiskření při nástupu na lamelu	1-10, 27, 28
C) Zelené jiskřičky	1-7, 11-15, 27, 28
D) Silné jiskření a oblouk okolo celého komutátoru	1, 2, 11, 12, 16, 17, 18
E) Přehřívání komutátoru	3, 8-9, 13, 16-17, 19-21, 29, 30
F) Přehřívání kartáče	3, 13, 16-20, 22, 29-32
G) Nerovnoměrně vypálený nebo dekolorovaný	1, 8, 19-22, 29, 31, 33, 34
H) Rychlé opotřebování – když je komutace v pořádku	8, 16, 19, 23-25, 30, 33, 35-37
I) Nerovnoměrné opotřebovávání	1,3,8-10,13,19-24,29,31,32,34-35,38-39
J) Enormní nebo zářící komutátor	16, 19, 20, 30, 36, 38
K) Tažení mědi	3, 4, 13, 14, 16, 17, 19, 22-24, 26, 30
L) Enormní komutátor – povrch začerněn	5, 6, 8, 11, 12, 15, 16, 19, 25
M) Vroubkování a rýhy v komutátoru	3, 13, 17, 19, 23-25, 30, 33, 35-40
N) Využívání lamel jen jedné polaroty	3, 13, 16, 19, 23-25, 39, 41
O) Ubrušování mědi z povrchu	1, 4-8, 10-12, 14, 17, 19, 20, 22-28
P) Drnčení kartáčů	3,5, 11-13,15-17,19, 22, 23, 29,32,37,39v
Q) Povrch komutátoru pruhovaný	8, 9, 11, 19, 22, 25, 33, 35, 39, 40
R) Nerovnoměrné opalování komutátoru	3,8,11-13,15,18, 19, 22, 25, 33, 35, 39, 40
S) Rovnoměrné opalování komutátoru	1-7,10,13,14,16,18,19,21,23,24,26-28,31,32,39
T) Na komutátoru vlnitý vzor	8, 11, 20, 22-25
U) Průhledné vzory na lamelách	6, 23, 24, 33, 40, 41
V) Povrch kartáče potažen vrstvou	3, 13, 16, 17, 19, 22-24, 32, 39
W) Prohloubený povrch kontaktu od kartáče	1,5-8,10,12, 15, 16, 18-20, 26-28,31,33
X) Ulamování rohu kartáče nebo jeho zlomení	3, 5, 11-13, 16, 17, 23, 32, 37, 39
Y) Projevení porušení ochranného povrchu	3,9,12,13,16,17,19,22-24,32,35-39
Z) Nedostatečné napětí na stroji s vlastním buzením	2,3,6,8,9,12,13,17-19,21,21-25,29-31,33-35



### 5.3.2 PRAVDĚPODOBNÁ PŘÍČINA PROBLÉMU

Nejčastější příznaky závady, které odpovídají pravděpodobné příčině.

- 1) Nestejné vzdálenosti od kartáčů nebo zarovnání
- 2) Lamela komutátoru vybočuje z řady z důvodu poruchy sváru
- 3) Způsob uchycení má za následek tažení kartáčů
- 4) Nedostatečný oblouk na třetí straně kartáče
- 5) Vydřené plochy na komutátoru
- 6) Nesprávná pozice kartáčů
- 7) Enormně vydřený oblouk na kartáči
- 8) Kartáče nedosedají nebo znečišťují držák
- 9) Nedokonalé uložení kartáče
- 10) Nestejná vzduchová mezera
- 11) Uvolněný komutátor
- 12) Naditá slídová izolace mezi lamelami
- 13) Radiální držáky kartáče uloženy s malou reakcí kotvy
- 14) Moc velká vzduchová mezera u pomocných pólů
- 15) Odstávající nebo propadlé lamely
- 16) Typ kartáče nevhodný pro stroj a hospodárnost
- 17) Dlouhá doba náběhu na stabilní zátěž
- 18) Porucha ve vinutí kotvy
- 19) Malá přitlačná síla kartáče
- 20) Přetížení stroje
- 21) Přívod kartáče moc krátký nebo tuhý
- 22) Rozdílný přitlak kartáče
- 23) Vibrace z externího zdroje (hnací stroj blízko hamru)
- 24) Vibrace z interního zdroje (špatné seřízení)
- 25) Komutátor nebo lamely jsou excentrické
- 26) Pole pomocného vinutí slabé
- 27) Pole pomocného vinutí silné
- 28) Vzduchová mezera pomocného vinutí malá
- 29) Chybějící nebo špinavý koncový konektor
- 30) Moc velká přitlačná síla kartáče
- 31) Nestejný odpor mezi kartáčem a komutátorem
- 32) Kartáč uvolněný v držáku
- 33) Plyn nebo výpary v atmosféře
- 34) Chybný přívod ke kartáči
- 35) Olej a špína na komutátoru nebo lamelách
- 36) Prach v atmosféře
- 37) Moc nízká vlhkost v ovzduší
- 38) Obroušený materiál na povrchu komutátoru
- 39) Držák kartáčů uložen moc daleko od komutátoru
- 40) Moc vysoká vlhkost v ovzduší
- 41) Quasi-elektrické opotřebenění lamel



### 5.3.3 OPRAVA VADY

Nejčastější možnosti opravy vzniklé závady.

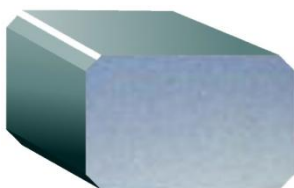
- 1) Přemístění držáků do správné polohy
- 2) Přepájení spojení
- 3) Obrátit držáky kartáčů nebo směr rotace
- 4) Vytvořit správný oblouk pomocí tření o komutátor
- 5) Najít a odstranit příčinu dření, otočením nebo přebrousit
- 6) Přemístit držáky do správné pozice
- 7) Zmenšit tloušťku kartáče
- 8) Zkontrolovat velikost kartáče, očistit je a opílovat
- 9) Uložit kartáče podle doporučení
- 10) Obnovit uložení a seřadit stroj
- 11) Utáhnout komutátor, obnovit povrch
- 12) Ubrousit slídovou izolaci nebo použít měkčí kartáč
- 13) Přizpůsobit pozici kartáče do správné polohy
- 14) Přizpůsobit vzduchovou mezeru pro lepší magn. Tok
- 15) Utáhnout komutátor, vyměnit nebo přebrousit lamely
- 16) Vybrat jiný typ kartáče
- 17) Změnit typ kartáče
- 18) Najít a zpravit poruchu
- 19) Nastavit příslušnou přitlačnou sílu dle typu kartáče
- 20) Zmenšit a omezit zatížení stroje
- 21) Vyměnit přívod ke kartáči
- 22) Vyměnit pružinu dle typu kartáče
- 23) Odstranit zdroj vibrací nebo dát stroj na anti vibrační absorbéry
- 24) Vyvážit kotvu a zkontrolovat ložiska
- 25) Otočit nebo přebrousit raději v nižších otáčkách
- 26) Zmenšit vzduchovou mezeru pomocného pólu
- 27) Zvětšit vzduchovou mezeru pomocného pólu
- 28) Zvětšit vzduchovou mezeru pro omezení toku
- 29) Vyčistit svorky a utáhnout šrouby
- 30) Vyměnit pružinu dle typu kartáče
- 31) Vyčistit a obrousit spoj
- 32) Vyměnit držáky kartáčů dle typu
- 33) Lépe uspořádat chlazení
- 34) Vyměnit kartáč s přívodem
- 35) Vyčistit komutátor a lamely
- 36) Odstranit příčinu nebo přidat filtr
- 37) Odstranit příčinu nebo přidat sání odjinud
- 38) Vyčistit povrch komutátoru
- 39) Přemístit držák na 2mm od komutátoru
- 40) Uzavřít stroj nebo přidat sání odjinud
- 41) Periodicky měnit polaritu

## 5.4 POVRCHOVÉ GRAFY KARTÁČE

Kapitola pojednává o povrchových grafech kartáčů. Ze vzhladu obrušované plochy kartáče lze z části stanovit, v jakém stavu je stroj. Velká část výkonu stroje je přenášena přes kartáče, a tudíž při nestandardním chodu je kartáč opotřebováván více a to má za následek nerovnoměrné rytiny na obrušované ploše.

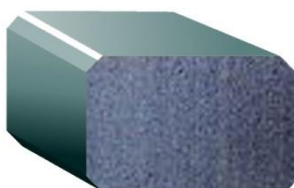
*Obrázek 5.1.1-11 - Povrchové grafy kartáče [9]*

### - HLADKÉ S JEDNOTNÝM POVRCHEM



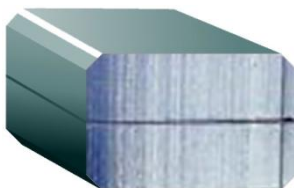
Tento povrch poukazuje na dobrý přenos výkonu stroje. Když je povrch lesklý (jako zrcadlo), malý průchozí proud může mít za následek přenos vysokých frekvencí. To může mít za následek vibrace.

### - NÁZNAK PRUHOVANÉHO POVRCHU



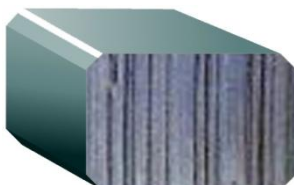
Jemné proužky na kartáči jsou důsledkem prachu v atmosféře. Odstraníme sáním vzduchu odjinud nebo filtry.

### - JEMNĚ PRUHOVANÝ POVRCH



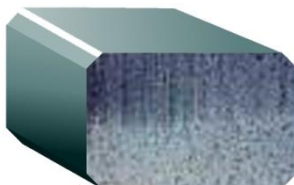
Tento povrch je další stádium předchozího, způsobuje velké ztráty.

### - RÝHOVANÝ POVRCH



Takto vypadá povrch velmi zničeného povrchu kartáče z důvodu prachu v atmosféře. Dochází tu k velkým ztrátám a přenos výkonu je nedostatečný.

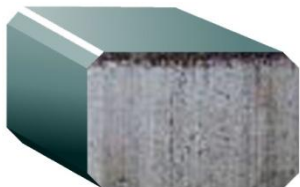
### - NÁZNAK PŘECHODU NA POVRCHU



Tento povrch poukazuje na nesprávnou komutaci, nesprávně nastavenou nulovou pozici, poruchu pomocného komutačního vinutí nebo jiné příčiny špatné komutace.

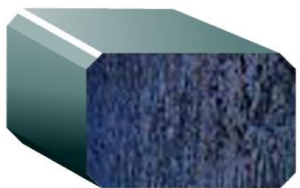
---

- SPÁLENÉ HRANY



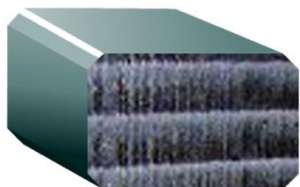
Výskyt spálené hrany je na zadní straně kartáče. Způsobené špatným spínáním a silným jiskřením.

- POVRCH S DŮLKY



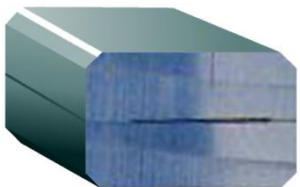
Toto je následkem silného jiskření pod kartáčem v důsledku proudového přetížení nebo přerušovaného kontaktu.

- VRSTVENÝ POVRCH



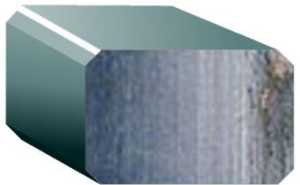
Jedná se o neobvyklý stav způsobený špatným vinutím kotvy a přenášením přepětí při provozu.

- DVOUVRSTVÝ POVRCH



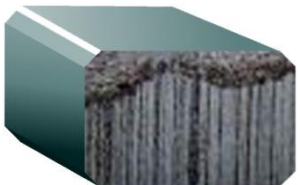
Takto vypadá povrch při časté reverzaci stroje. Kartáč má určitou vůli v držáku. Tento samotný jev není důvodem k obavám.

- USAZENÉ ČÁSTICE MĚDI



Měď obrušovaná z povrchu komutátoru je způsobena tažením mědi (deformace) nebo nárazové zatížení. Tato vada může způsobit další opotřebovávání komutátoru.

- VYŠTÍPNUTÉ ROHY



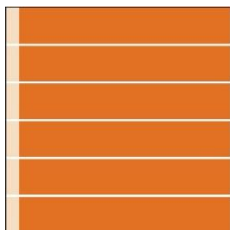
Vyštípnuté hrany se nejčastěji vyskytují na přední straně kartáče. Je to způsobené špatným profilem komutátoru, přecházející izolací slídou, špatným přechodem mezi lamelami a špatným uchycením kartáče.

## 5.5 POVRCHOVÉ GRAFY KOMUTÁTORU

V kapitole jsou obsaženy povrchové grafy komutátoru. Povrchové grafy povrchu komutátoru poukazují na možné problémy vyskytlé při činnosti stroje. Z grafů lze jednoduše určit, jakým způsobem je přenášén výkon do kotvy a tudíž i možné vady.

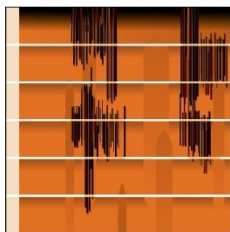
*Obrázek 5.2.1-11 - Povrchové grafy komutátoru [9]*

### - SVĚTLÝ POVLAČ



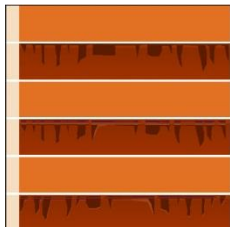
Takto vypadající povrch komutátoru odpovídá dobře pracujícímu stroji. Světlost lamel závisí na kvalitě kartáče. Film může být mírně lesklý.

### - SKVRNITÝ POVLAČ



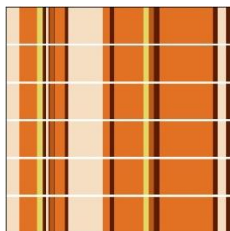
Tento nerovnoměrný povlak komutátoru je docela běžný. Možné příčiny jsou: kruhovitost komutátoru, přitlačná síla kartáče, nestejně magnetické pole a chemické výpary. Tyto příčiny přispívají k tomuto typu povlaku.

### - ŽEBROVITĚ RÝHOVANÝ POVLAČ



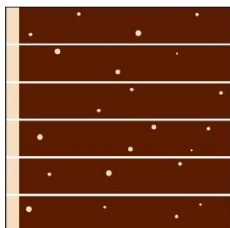
Opakující světlá a tmavá s drážky souvisí s počtem cívek kotvy na lamelu. Tento vzor se týká návrhu stroje a stavu vinutí. Natočení kartáčů může tento vliv omezit.

### - PRUHOVÁNÍ NA POVRCHU



Tento film není vadou komutátoru ani kartáčů. Je způsoben nízkým proudovým zatížením kartáčů, vysokou vlhkostí, olejem a agresivními výpary.

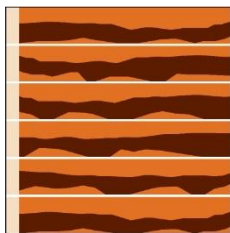
### - POVRCH SE SVĚTLÝMI BODY



Světlé body na lamelách komutátoru jsou způsobeny špatným kontaktem s kartáči nebo přetížením stroje. Výsledkem je jiskření pod kartáčem, může poničit lamely.

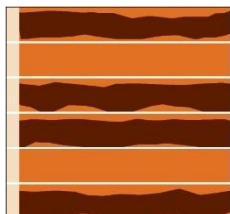
---

- SPÁLENÉ LAMELY



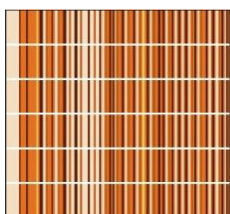
Znamenají narušení zadní hrany lamel. Špatně nastavená symetrie kartáčových držáků nebo špatná komutace. Pokud se tato vada neodstraní tak může způsobit vážné poškození komutátoru nebo výboj.

- ŽEBROVITĚ SPÁLENÉ LAMELY



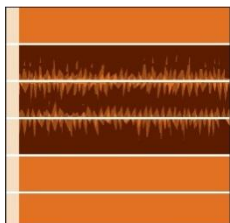
Obrušování každé druhé, třetí nebo čtvrté lamely komutátoru je výsledkem špatného návrhu vinutí kotvy. Použitý špatný materiál, odskakování kartáčů nebo nastavení stroje může způsobit tento stav. Způsobuje poškození komutátoru a větší opotřebování kartáčů.

- PRUHOVANÁ MĚDĚNKA VIDITELNÉ OPOTŘEBENÍ



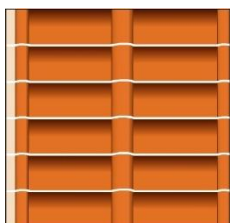
Pruhovaný film (lišící se v šířce i barvě) při neopotrebovaném komutátoru je způsoben atmosférickými podmínkami (vlhkost, olejové páry nebo jiné plyny) nebo nedostatečným zatížením. Hrozí poškození komutátoru.

- INTENZIVNĚ SPÁLENÉ LAMELY



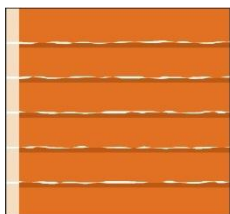
Rýhy na lamelách v tomto vzoru se týkají ½ počtu ramen kartáčů. Tento stav je způsoben elektrickou poruchou, jako je nevyvážená kotva, nestejně magnetické pole nebo špatný kontakt důsledkem izolace na komutátoru.

- VYDŘENÉ ŽLÁBKY



Opotřebení komutátoru v šířce kartáče je způsobeno velkým množstvím brusného prachu v atmosféře, drsným kartáčem nebo velmi malým přitlakem pružiny (pod  $100\text{g/cm}^2$ ). Toto lze odstranit výměna kartáčů nebo filtrování vzduchu.

- TAŽENÍ MĚDI



Nastává, když se měď nataví v důsledku přenášení velké energie. Po natavení se na lamely přilepí nečistoty z okolí a zoxiduje povrch lamel. Tyto nečistoty se usazují na hranách lamel a po čase vytvoří vodivý most (zkrat) přes izolační slídu nebo špatný povrch pro smýkání kartáče.



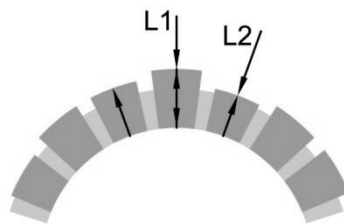
## 5.6 VZHLED OSTATNÍCH PORUCH

Tato kapitola bude věnována dalším poruchám vznikajícím na kartáči, komutátoru a na přívodním kabelu ke kartáči.

### 5.6.1 TYPICKÉ PORUCHY KOMUTÁTORU

Komutátor může být poškozen i jinými způsoby než bylo uvedeno výše. Klasickou poruchou je například nestejně vysoké lamely na komutátoru.

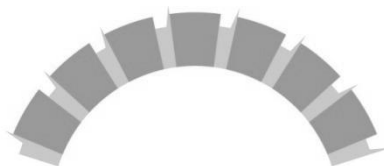
L1, L2) Vyčnívající nebo zapadlé lamely na komutátoru



Obrázek 5.3 – Vyčnívající nebo zapadlé lamely [9]

L3) Vyčnívající slídová izolace mezi lamely

L3



Obrázek 5.4 – Slídová izolace vyčnívá [9]

L3) Lamely komutátoru nepravidelně ubroušeny

L4



Obrázek 5.5 – Ubroušené lamely [9]

L4) Takzvané tažení mědi lamel

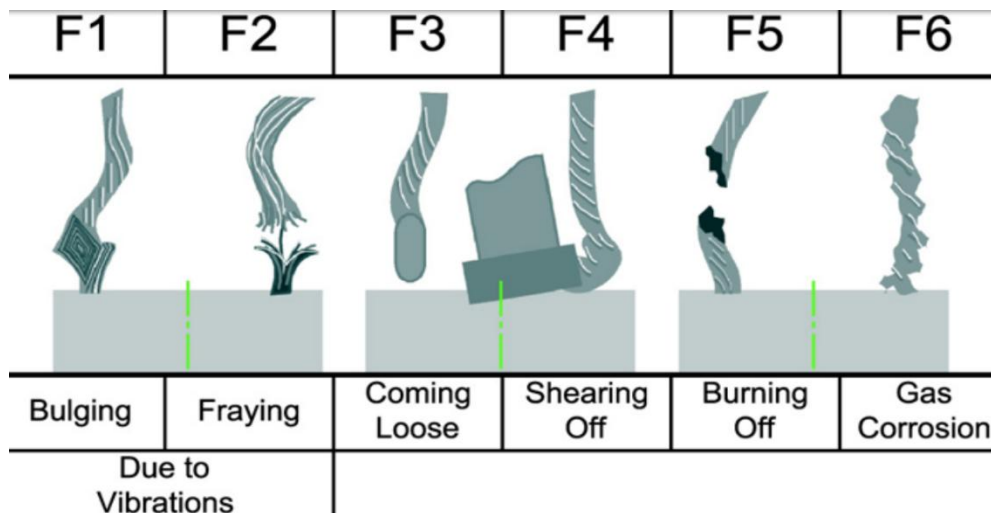
L5



Obrázek 5.6 – Tažení mědi [9]

## 5.6.2 TYPICKÉ PORUCHY PŘÍVODNÍHO KABELU KE KARTÁČI

Skutečnost, která nám odkazuje na další poruchu je opotřebovávání přívodního kabelu ke kartáči vlivem ať už elektrickým či mechanickým.



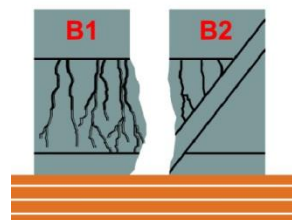
Obrázek 5.7 – Typické poruchy přívodního kabelu [9]

- F1) Vyboulené vlivem vibrací – Přívodní kabel se začíná rozplétat.
- F2) Roztřepené vlivem vibrací – Jednotlivé dráty spletence jsou přerušeny.
- F3) Uvolnění – Přívodní kabel se uvolní z uchycení v kartáči.
- F4) Odlomení – Uchycený kabel v kartáči se vylomí z uchycení.
- F5) Přepálení – Vlivem velkého zatěžování se přívodní kabel přeruší přepálením.
- F6) Zkorodování – Korozní prvky v atmosféře stroje způsobí zkorodování přívodu.

## 5.6.3 NEJČASTĚJŠÍ DEFORMACE UHLÍKOVÝCH KARTÁČŮ

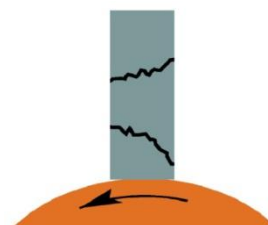
Deformace kartáčů vzniká nejčastěji především mechanickým působením komutátoru na kartáč. Kartáč je přitlačován určitou silou ke komutátoru. Ta má za následek deformaci.

- B1, B2) Díky usazování prachu vznikají nánosy.  
Obrušováním cizími částicemi ubroušeno.



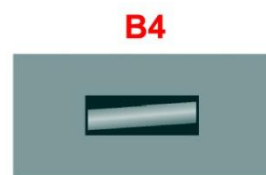
Obrázek 5.8 – Deformace B1, B2

- B3) Rozpraskání důsledkem oscilace.



Obrázek 5.9 – Deformace B3

B4) Vyhlazené v malém místě styku.



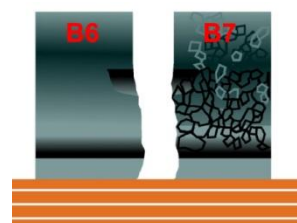
Obrázek 5.10 – Místo styku B4

B5) Spálené na malé ploše styku.



Obrázek 5.11 – Místo styku B5

B6, B7) Vznik zubu mechanicky.  
Rozpad povrchu vlivem průchodu proudu.



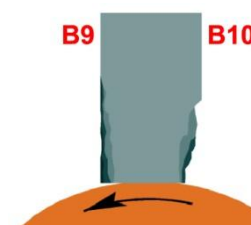
Obrázek 5.12 – Rozpad a deformace

B8) Boční pohled na B6 a B7



Obrázek 5.13 – Boční pohled

B9, B10) Olupování vrstev na konci kartáče.  
Vylámání zoubků na začátku kartáče.



Obrázek 5.14 – Deformace třením

## 6 ZÁVĚR

Práce na téma „Analýza a inovace stejnosměrných motorků“ obsahuje základní vysvětlení principu činnosti, rozběhu a chodu při provozování stejnosměrného stroje, a to buď jako motoru, nebo generátoru. Dále teoretické objasnění nejdůležitějších elektromagnetických, energetických a mechanických toků energií ve stejnosměrném stroji, jako jsou reakce kotvy, elektromagnetický moment, indukované napětí a v neposlední řadě také výčet jednotlivých ztrát, ať už mechanických nebo elektrických. Práce také objasňuje problematiku komutace na komutátoru, použití různých typů kartáčů vhodných pro danou aplikaci a omezení jiskření mezi kartáči a lamely na komutátoru.

Druhá kapitola byla věnována provedení stejnosměrných strojů. Obsahuje výčet jednotlivých dílů potřebných pro bezpečný a bezproblémový provoz stroje. Zabývá se také konstrukcí statoru, kde je možné budít stroj permanentními magnety, nebo budicím vinutím, které je napájeno z různých možných zdrojů (tj. cizí, sériové, paralelní atd.). Dále pojednává o konstrukci rotoru, na kterém je navinuto rotorové vinutí kotvy. Jež jej lze vinout vlnově nebo smyčkově, bylo porovnáno a objasněno jednotlivých výhod a nevýhod daného navinutí. Nejnáročnějším mechanickým prvkem na přesnost je komutátor, zběžné seznámení s prvkem nechybí.

Následující kapitola zahrnuje praktické ověření funkčnosti motoru. Po domluvě se zástupci z firmy *ATAS elektromotory Náchod a.s.* jsem jimi vybraný stroj malého výkonu *P2XR492* proměřil a z naměřených hodnot zpracoval protokol o měření. Výsledkem měření jsou momentové charakteristiky. Charakteristiky jsou nejdůležitějším prvkem pro výběr stejnosměrného stroje pro danou aplikaci. Nejdůležitějšími charakteristikami jsou závislosti rotorových otáček, výkonu stroje, energetické účinnosti a odebíraného proudu na momentu na hřídeli. Měření probíhalo dle teoretických předpokladů.

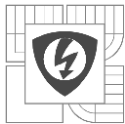
Další kapitola byla věnována o možnosti inovace stejnosměrných strojů. Inovace se nejčastěji provádí z důvodu odstranění chybného návrhu stroje pro danou aplikaci nebo zvýšení účinnosti. Zvyšování účinnosti je velmi důležité hlavně u strojů používaných pro speciální aplikace (tzn. motory s vysokým záběrným momentem). Dále také okrajové seznámení s EC motorem nám otevírá novou kapitolu strojů používaných elektrotechnickém průmyslu. Tato problematika je mimo zadání. Natolik rozsáhlou kapitolu zpracovávat by bylo neefektivní.

Poslední kapitola pojednává o inovaci, která zapříčiní menší napěťový úbytek mezi kontaktem kartáč, komutátor. Zvětšením přitlačné síly kartáčů, dosedajících na komutátorové lamely, docílíme menší odpor na styku a tím zmenšíme úbytek napětí a ztrátový výkon na kartáčích. Musíme brát v potaz také následky zvětšení mechanického působení kartáčů na komutátor. Při větším přitlaku se rychleji opotřebovávají kartáče, které se tím mohou poškodit. Měděné lamely jsou také náchylné na různé poruchy, z filmu na povrchu lamel lze určit, o jakou závadu se jedná. Dále kapitola obsahuje možné příčiny problému a možnosti odstranění vzniklých závad.

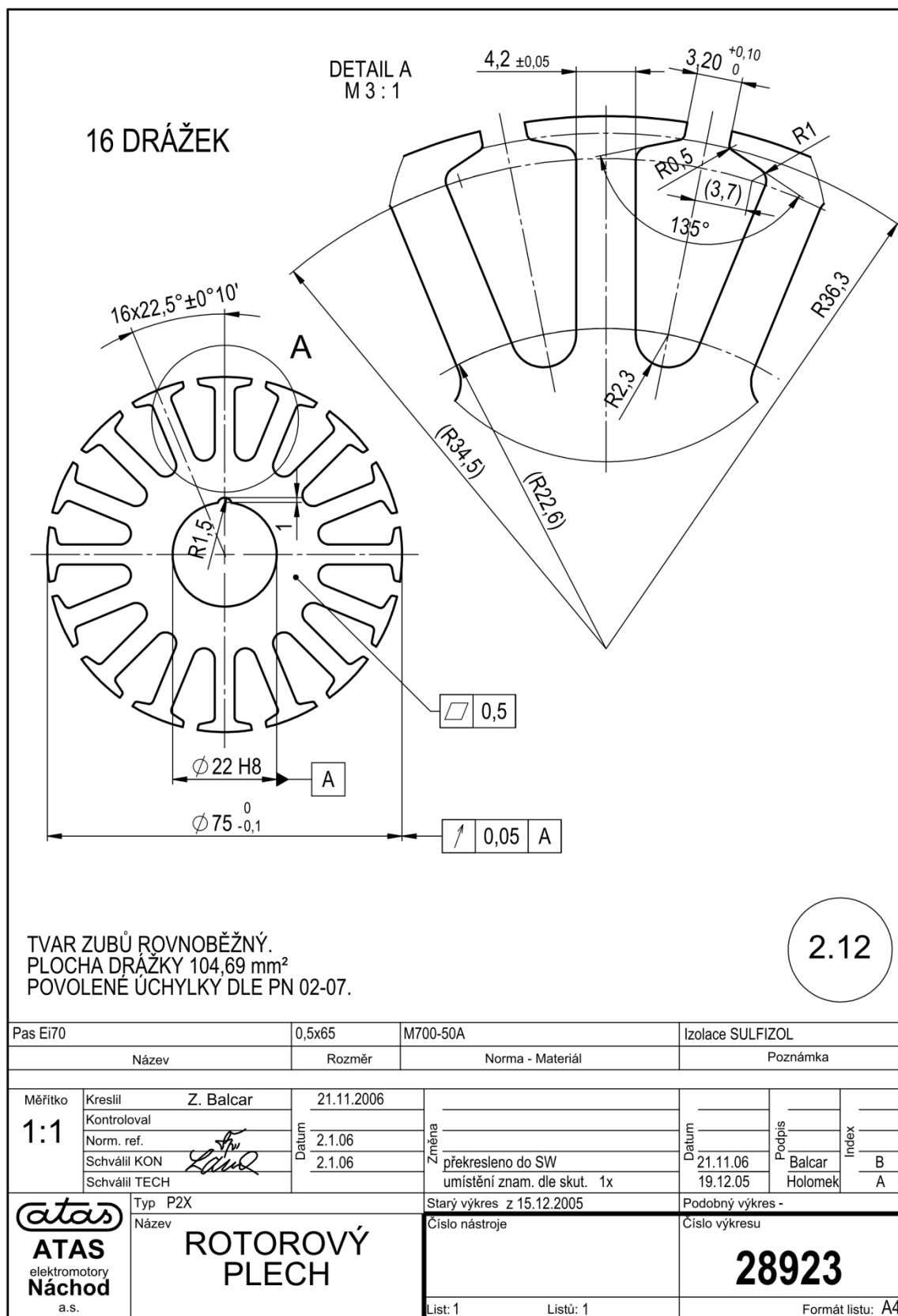


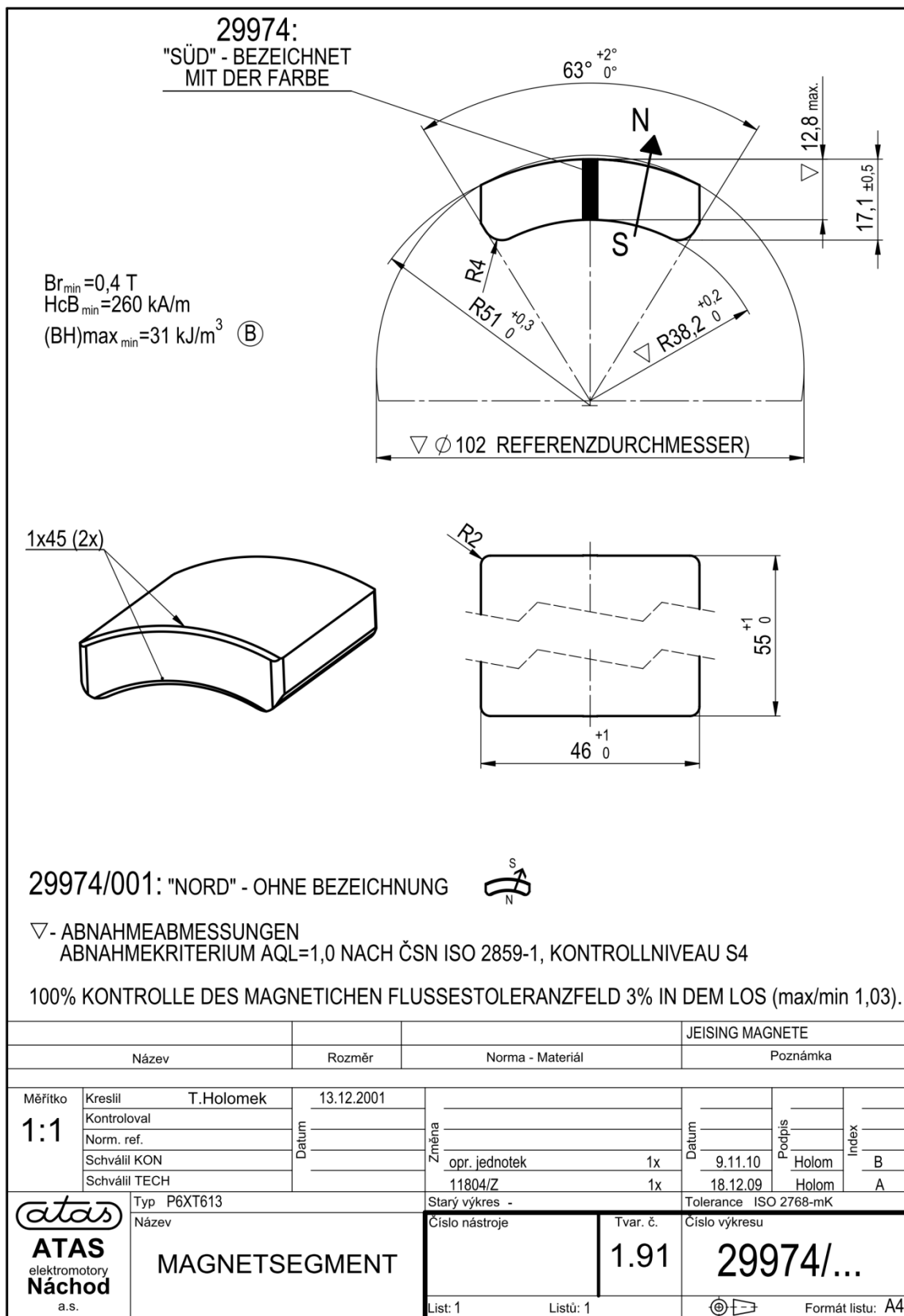
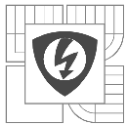
## LITERATURA

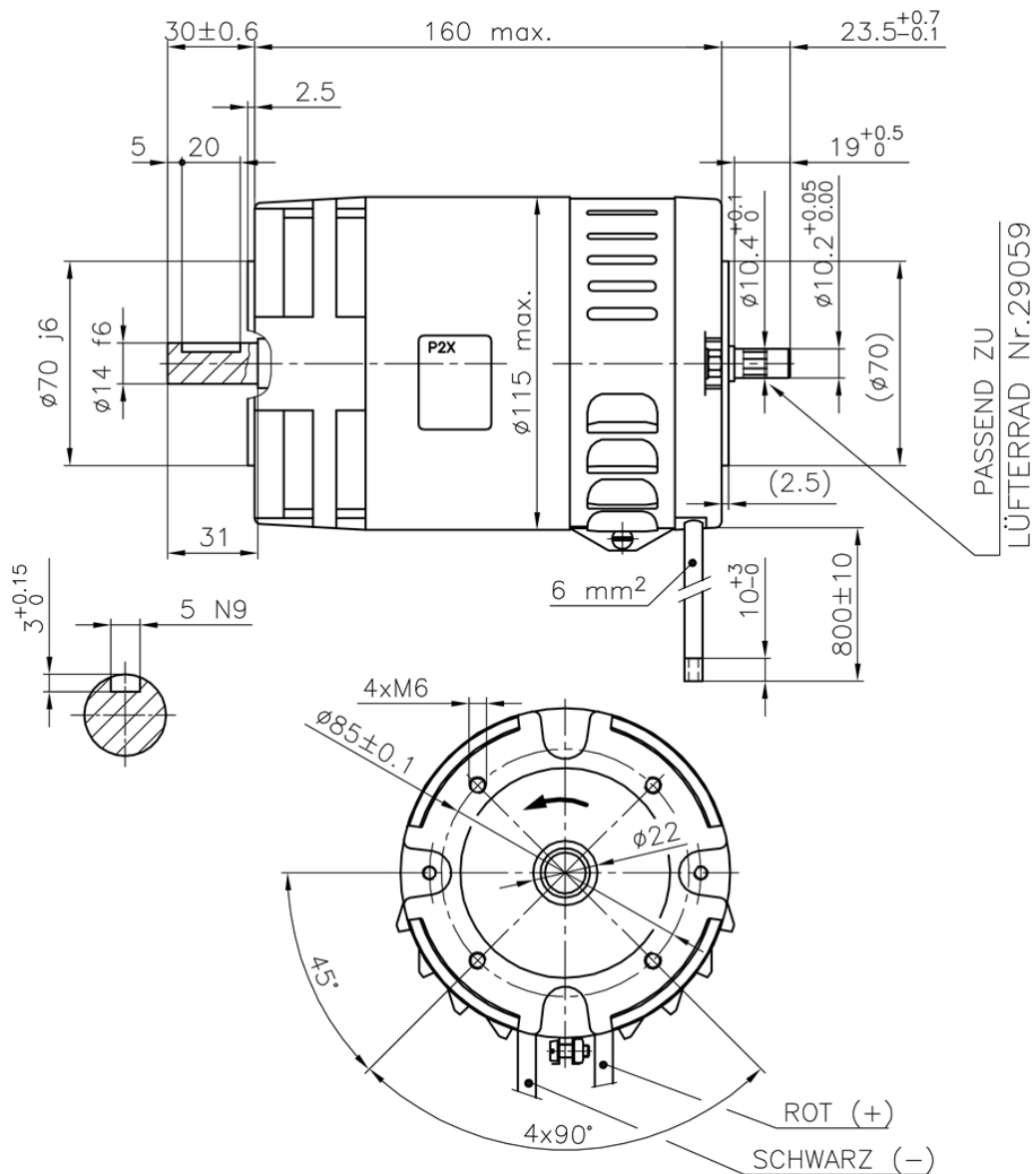
- [1] FITZGERALD, A. E. ; KINGSLEY , Charles; UMANS, Stephen D. Electric Machinery : DC Machines. New York : McGraw-Hill, 1. January 1990. 704 s. ISBN 0-07-366009-4.
- [2] CHAPMAN, Stephen J. Electric Machinery Fundamentals (Power & Energy). New York : McGraw Hill, c2004. 746 s. ISBN 0071151559.
- [3] DOC.ING.VRÁNA,CSC., Václav; ING.KOCMAN,PH.D., Stanislav; ING.KOLÁŘ PH.D., Václav. STEJNOSMĚRNÉ STROJE : Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů. Brno, 2006. 6 s.
- [4] CHMELÍK, Karel; POSPIŠILÍK, Jiří . Elektrické stroje v energetice. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 2003. Stejnoseměrné stroje, s. 39. ISBN 80-248-0314-3.
- [5] SOKOL, Zdeněk. Elektrické stroje a zařízení Stejnoseměrné stroje. Dobruška : SPŠ elektrotechniky a informačních technologií, c2009. 9 s.
- [6] GILAR, Jiří. Motory typy. Liberec : Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická a Vyšší odborná škola, c2011. 34 s.
- [7] KREJČÍ, F. Elektrotechnika I. : Pro 2 ročník UO Automechanik. Praha : INFORMATORIUM, 2007. 200 s. ISBN 978-80-7333-049-1.
- [8] Webs.zcu.cz [online]. 2006-9-1 [cit. 2011-12-05]. Západočeská univerzita v Plzni - CIV. Dostupné z WWW:  
<[http://webs.zcu.cz/fel/kev/zei/krasl/Podklady\\_ke\\_studiu/El\\_stroje/Rozsirene\\_el\\_stroje/St\\_ejnosmer/internet\\_pres\\_ss\\_stroje.ppt](http://webs.zcu.cz/fel/kev/zei/krasl/Podklady_ke_studiu/El_stroje/Rozsirene_el_stroje/St_ejnosmer/internet_pres_ss_stroje.ppt)>.
- [9] Carbonsmay S.R.O. Carbonsmay S.R.O. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.carbonsmay.cz/>
- [10] Přechodový odpor, oteplení a ztráty elektrických spojů. *Středisko mědi* [online]. 2007 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.medportal.sk/system/files/publikace/prechodovy\\_odpor.pdf](http://www.medportal.sk/system/files/publikace/prechodovy_odpor.pdf)



## PŘÍLOHY







P2XR492

DER MOTOR ENTSPRICHT DEM TYP 6.613-028

NÁZEV:  
GLEICHSTROMMOTOR

Měřítko	Datum	Kreslil	Kontrol.	Schválil	Norm.ref.	Č.staré: N2785 z 5/99 Formát: A4
1:2	19.06.00	T.Holomek				



ATAS elektromotory Náchod a.s.

N2785